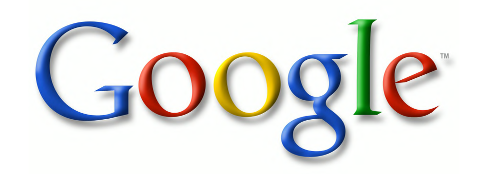




Vering, G.

Rückblick auf die entwicklung der lehre von den erscheinungen und ursachen der eiszeit.





Rückblick

auf die

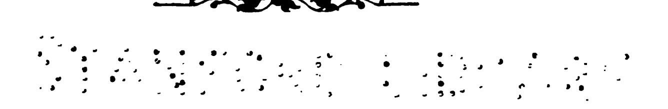
Entwicklung der Lehre von den Erscheinungen und Ursachen der Eiszeit.

Von

Oberlehrer Dr. Gerhard Pering.

Erster Teil.

Beilage zum Programm des Königlichen Gymnasiums zu Neuß.



Druck der Buchdruckerei H. Goder in Neuß.
1883.

Fünfzig Jahre ungefähr sind verflossen, seitdem die Aufmerksamkeit zunächst einzelner Beobachter sich nachhaltig auf die hinterlassenen Spuren desjenigen Naturereignisses zu richten begann, welches unter dem Namen der Eis- oder Glazialzeit ein bevorzugter Gegenstand eifrigster Untersuchungen wie mannigfaltigster Speculationen geworden und bis auf den heutigen Tag geblieben ist. Bot das Studium jener Epoche enorm entfalteter Gletscher schon an sich durch das Auffallende und Großartige der Erscheinung nicht geringen Reiz, so wurde dieser noch wesentlich durch den doppelten Umstand erhöht, daß es sich bei der Untersuchung der glazialen Bildung einerseits in chronologischer Beziehung um eine Zeitperiode handelt, in welche die Urgeschichte der Menschheit hinabreicht, und andererseits in örtlicher Beziehung vorwiegend um Gegenden, in denen gegenwärtig Kultur und Bildung ihren Hauptsitz aufgeschlagen haben. Nimmt man dann noch die nahegelegte Frage hinzu, ob dereinst, wenn auch erst nach Jahrtausenden, mit unabänderlicher Naturnotwendigkeit eine gleiche Kälteperiode mit all dem Schauer der Vernichtung und Verödung über diese blühenden Länder hereinbrechen wird, so erklärt sich zur Genüge das hohe Interesse, welches den Untersuchungen über die Glazialphänomene in weitesten Kreisen entgegengebracht wird. Dieses allgemeine Interesse mag als Rechtfertigung des Versuches dienen, auf den folgenden, nicht speciell für Fachmänner berechneten Blättern die Entwicklung der Lehre von der Eiszeit in ihren Hauptzügen zu skizzieren. Doch sollen zunächst nur die Erscheinungen dieser Periode in Betracht kommen, während die Darstellung der verschiedenen Hypothesen über die Ursache derselben einer späteren Abhandlung vorbehalten bleibt.

Den ersten Anstoß zur Annahme ehemaliger Riesengletscher gaben die sogenannten Findlinge oder erratischen Blöcke, wie solche namentlich in den Alpen und ihren Grenzgebieten sich vielfach unter Verhältnissen zeigten, welche ihr Vorkommen daselbst im höchsten Grade rätselhaft und unerklärlich erscheinen ließen. So beispielsweise im Jura als mächtige Granitfragmente in auffallender und kühner, oft erschreckender Stellung hingestreut über die Abhänge und Rücken hoher nur aus Kalkstein bestehender Gebirgszüge, weithin ohne Nachbarschaft gleichartigen anstehenden Gesteines und deshalb offenbar an Ort und Stelle Fremdlinge aus entlegener Ferne, gleichwohl hinwiederum oft scharfkantig, als wären sie frisch von der Felsbank gebrochen, und ohne jegliche Spur von Abnutzung durch stattgehabten Transport, mußten sie nachdrücklich zu der Frage anregen, von woher und auf welche Weise sie an ihre jetzige Stelle

gelangt seien. Konnte nun in Beantwortung der ersten Frage mit Sicherheit nachgewiesen werden, daß ihr gegenwärtiger Fundort von ihrer ursprünglichen Heimatstätte selbst bis über vierzig Meilen entfernt lag, beide zudem von einander getrennt durch dazwischen liegende breite Thäler und tiefe Seen, so mußte die zweite Frage nach der Art und Weise ihres Transportes um so rätselhafter erscheinen.

Zwar fehlte es zur Erklärung nicht an den mannigfaltigsten Hypothesen, doch blieb die Mehrzahl derselben lediglich Privatmeinung ihrer Urheber, und auch die allgemeiner adoptierten erwiesen sich um so unzulänglicher, je weiter die Untersuchungen voranschritten. Die von Dolomieu und später von Ebel geäußerte Vermutung, daß erst nach Ablagerung jener Jurablöcke sich das große Schweizer Thal gebildet und früher eine sanft geneigte Fläche als Rutschbahn für die Blöcke sich von den Alpengipfeln zum Jura hin erstreckt habe, war ebenso unhaltbar, als Silberschlag's und insbesondere des älteren De Luc Annahme, die Blöcke seien durch gewaltige Explosionen aus dem Erdinnern emporgeschleudert worden, oder gar Chabrier's Meinung, sie seien Abkömmlinge anderer Weltkörper und als solche auf die Erde niedergefallen. Annehmbarer schien die zuerst von Venturi aufgestellte und später namentlich von Lyell und Darwin weiter ausgebildete Hypothese, nach welcher Eisschollen auf dem ehemaligen inneren Meere der Schweiz die Findlinge den Juragehängen zugeführt haben sollten; doch entsprach auch sie den Thatsachen so wenig, daß Lyell selbst sie wieder fallen ließ, als er sich an Ort und Stelle von den Lagerungsverhältnissen der Findlinge überzeugt hatte. Eines ziemlich allgemeinen Beifalls erfreute sich lange Zeit hindurch die von Saussure herrührende sog. Stromtheorie, nach welcher gewaltige Fluten die Blöcke mit sich fortgerissen haben sollten; aber auch sie konnte auf die Dauer ihre Herrschaft nicht behaupten, so scharfsinnig auch kein geringerer als L. von Buch dieselbe im einzelnen zu begründen gesucht hatte und so nachdrücklich er auch später noch mit dem ganzen Gewichte seines Namens für dieselbe eintrat. Nach Saussure's Meinung bildete die Schweizer Ebene, als das Felsenthor bei Fort l' Ecluse unterhalb Genf noch geschlossen war, einen weiten See, dessen ungestüme Strömung beim Durchbruch jener Felsen die Alpenblöcke auf die südlichen Abhänge des Jura schleuderte. L. von Buch[1]) machte 1811 darauf aufmerksam, daß die Annahme eines einzigen solchen Stromes nicht genüge. Er hatte erkannt, daß die über die Schweizer Ebene und die Juraabhänge verbreiteten Wanderblöcke scharf gegen einander abgegrenzte den Hauptthälern entsprechende Bezirke bilden, von denen jeder durch Blöcke desselben Ursprungs charakterisiert ist: das Waadtland und der Kanton Neuenburg durch Blöcke aus der Montblankgruppe und den Walliser Alpen, die Gegend von Bern durch Felstrümmer aus dem Oberlande, das Züricher Land durch Findlinge aus dem Glarner Gebirge. Diese Verteilungsweise erklärte er durch die Annahme eben so vieler aus den Hauptthälern hervorbrechender Stöme. Auch war seinem scharfen Blicke nicht entgangen, daß

der die Jurakämme an ihrer Südseite kranzartig umgebende Streifen dicht gedrängter Wanderblöcke auf dem Chasseron die größte Höhe erreicht und von hier aus nach beiden Seiten hin, allmählich über Neuenburg hin, rascher in der Richtung auf Genf, sich hinabsenkt. Eine Erklärung dieses Verhältnisses glaubte er in dem Umstande zu finden, daß der aus dem Rhonethale hervorbrechende und die Felstrümmer von den höchsten Gipfeln mit sich fortreißende Strom direkt gegen jenen Berg gerichtet war und von hier aus nach beiden Seiten abfloß. Auf welche Weise solch gewaltige Fluten veranlaßt worden seien, ließ er vorläufig unentschieden. Der ältere Escher von der Linth[2] glaubte 1819 ihre Quelle in weit ausgedehnten Seen zu finden, welche vormals die nach außen hin noch abgesperrten Alpenthäler bedeckt und bei ihrem Durchbruche die Felsblöcke weithin über das Vorland ausgestreut hätten. L. von Buch selbst brachte später (1826) den Ursprung der Ströme mit der Erhebung der Centralalpenkette in Zusammenhang. Mit der nach Bildung der Tertiärschichten eingetretenen Erhebung derselben wurden nach ihm auch die vorhandenen Wassermassen mit in die Höhe gerissen und ergossen sich von der Mitte der Alpen her durch die einzelnen Thäler. Nach Elie de Beaumont (1835) sollten die Fluten dem plötzlichen Schmelzen der Schnee- und Eismassen auf den Alpen infolge der Entwicklung heißer Gase bei gewissen Vorgängen der Gebirgsbildung ihren Ursprung verdanken. Wohl war es für die Phantasie keine geringe Zumutung, sich Fluten von solch immenser Stoßkraft vorzustellen, daß sie hausgroße Felsmassen viele Meilen weit schwebend mit sich fort schleuderten, ohne ihnen zu gestatten, sich zu Boden zu senken. Doch entsprach eine solche Anschauungsweise der damaligen, wohl als geologische Sturm- und Drangperiode bezeichneten Richtung. Man liebte es, zur Erklärung geologischer Phänomene gewaltsame Katastrophen zu Hülfe zu nehmen. Sollten doch, wie jene Felsblöcke, so auch sämtliche Schichten aus Kies, Sand, Thon oder Mergel, welche als Schwelle der Gegenwart auf die tertiäre Formation folgen und den heutigen Fluß- und Meeresablagerungen vorangehen, durch gewaltige, über Berg und Thal sich ergießende Fluten abgesetzt worden sein, wie denn diese zugleich durch religiöse Vorstellungen beeinflußte Anschauung auch in der Bezeichnung Diluvium zum Ausdruck gekommen war, welche Buckland 1818 für jene zuerst von ihm als besondere geologische Formation gedeuteten Schichten eingeführt hatte. Nur langsam vermochte dieser kataklysmischen Theorie gegenüber sich der von Lyell in England und von Prévost in Frankreich verfochtene Grundsatz Bahn zu brechen, daß alle geologischen Phänomene nur durch Kräfte, wie sie gegenwärtig noch wirksam sind, im Laufe langsam schaffender Zeiten hervorgebracht und deshalb auch nur durch solche unter stetem Vergleichen und Kontrolieren zu erklären seien.

Mittelst dieses Prinzips sollte dann auch die Frage nach dem Ursprunge der erratischen Erscheinungen ihre endgültige Lösung finden.

Vermutungsweise hatte schon zu Anfang dieses Jahrhunderts der Schotte Playfair[3] in seinem Werke über die Hutton'sche Theorie der Erdbildung die Ansicht ausgesprochen, daß in den Gletschern die wirksamsten Mittel zur Fortbewegung von Felstrümmern zu suchen seien, und auf seinen Reisen im Jahre 1815 war er durch die Untersuchung der erratischen Blöcke auf dem Jura in seiner Ansicht bestärkt worden. Er sprach die Überzeugung aus, daß so gewaltige und scharfkantige Felsmassen wie der Pierre à Bot bei Neuenburg, nicht durch einen Strom flüssigen Wassers, sondern nur auf dem Rücken eines starren Eisstromes, eines mächtigen Gletschers, nach so weiter Ferne hin transportiert sein könnten. Doch war seine Hypothese in Vergessenheit geraten und sie hat auf die Entwicklung der Lehre von der Eiszeit ebenso wenig Einfluß geübt, wie die ähnlichen Ansichten, welche später Esmark (1827) und Bernhardi[4] (1832) äußerten. Es konnten solche Erklärungsversuche sich nicht über den Wert subjektiver Meinungen erheben, so lange denselben die nähere, aus der Wirksamkeit der gegenwärtigen Gletscher hergeleitete Begründung fehlte.

Der erste, der auf diesem Wege vergleichender Beobachtung von dem Studium der jetzigen Gletscher auf die Verfolgung der Spuren ihrer früheren Wirksamkeit geführt wurde, war der Walliser Venetz. Mit den Untersuchungen dieses kühnen und unerschrockenen Mannes, der sich ebenso wenig in seiner wissenschaftlichen Überzeugung durch Widerspruch, wie in seinen technischen Arbeiten durch Anfechtung beirren ließ, nimmt die seitdem ununterbrochen weiter ausgebildete Lehre von der durch riesenhafte Gletscherentfaltung charakterisierten Epoche der Erdbildung ihren Anfang. Als Ingenieur bei der Walliser Regierung mit den Arbeiten am Gétroz-Gletscher beauftragt, fing er an, den Gletschern überhaupt seine Aufmerksamkeit zuzuwenden, namentlich die Erscheinung ihrer periodischen Zu- und Abnahme zu verfolgen. Hatte doch das allgemeine Vordringen der Gletscher in den vorhergehenden Jahren vielfache Besorgnisse in der Schweiz hervorgerufen, und war doch gerade infolge eines solchen Vorrückens des genannten Gletschers ein mächtiger Eisdamm quer durch das Bagnethal gelagert und dadurch die obere Drance zu einem großen See aufgestaut worden, welcher bei seinem Durchbruch im Jahre 1818 innerhalb einer Stunde über das untere Thal die grauenvollste Verheerung gebracht hatte. Eine Anregung zur weiteren Verfolgung seiner Studien fand Venetz in der aus Anlaß jener Gletscherzunahme der letzten Jahre 1820 von der schweizerischen Gesellschaft gestellter Preisaufgabe, durch welche eine Zusammenstellung konstatierter Tatsachen über Wachstum und Abnahme der Gletscher und die dadurch ausgesprochene Veränderung in dem alpinen Klima verlangt wurde. In der von ihm 1821 eingereichten und von der Gesellschaft auf der Versammlung des folgenden Jahres zu Bern mit dem Preise gekrönten Abhandlung[5]) stellte er einer ersten Gruppe von Thatsachen, aus denen sich eine erheblich geringere Gletscherausdehnung zur Zeit des Mittelalters ergiebt, eine zweite Reihe von Dokumenten gegenüber, welche für eine noch frühere, weit entlegene

Zeit eine ungleich größere Entfaltung beweisen. Diese letzteren Dokumente sind für ihn alte, zum Teil mit Baumwuchs bedeckte Moränenwälle, unzweifelhaft von Gletschern aufgeschüttet, die sich gegenwärtig weit von denselben zurückgezogen haben oder zum Teil gegenwärtig vollständig verschwunden sind. Doch beschränkt er sich in jener Abhandlung auf den Nachweis verhältnismäßig bescheidener Grenzen früherer Gletscherentfaltung[6]). Erst im Verlauf seiner eifrig fortgesetzten Beobachtungen erweitert sich für ihn der Gesichtskreis. Er gewinnt nach und nach die Überzeugung von der ehemaligen Existenz großartigster Gletscher, durch welche die erratischen Vorkommnisse auf dem Jura, wie im Norden Europas zu erklären seien. Die Macht seiner Überzeugung gab ihm den Mut, seine Auffassung der im Juli 1829 auf dem Großen St. Bernhard versammelten schweizerischen naturforschenden Gesellschaft vorzutragen[7]), obwohl er hier auf eben so entschiedenen Widerspruch gefaßt sein mußte, wie er ihn kurze Zeit vorher bei seinem Freunde J. von Charpentier gefunden hatte, als er diesem zum erstenmale seine Ideen entwickelte.

Der letztere, Bergwerksdirektor in Bex, ein Mann von umfassenden und vielseitigen Kenntnissen und als Geologe durch seine Untersuchungen über die Pyrenäen schon damals von Ruf, hielt Venetz' Annahme einer früheren Kälteperiode für unvereinbar mit der Thatsache der höheren Temperatur während der früheren geologischen Perioden, und die Vorstellung eines Gletschers von solcher Ausdehnung, daß er nicht nur das ganze Wallis, sondern auch die gegenüberliegende Ebene bis hoch zum Jura hinauf solle bedeckt haben, schien ihm geradezu phantastisch. Nur in der geheimen Hoffnung, seinen Freund an Ort und Stelle bald von seinem Irrtum überführen zu können, ließ er sich von diesem zu jenen dammartigen Ablagerungen führen, welche Venetz als Zeugen ehemaliger Gletscheranwesenheit, als alte Moränen, deutete. Aber das Resultat der anfänglich, wie er sagt, von ihm zur Bestreitung der Venetz'schen Hypothese angestellten Untersuchungen war für ihn ein dem erwarteten gerade entgegengesetztes. Er überzeugte sich mehr und mehr von der Richtigkeit jener Auffassungsweise und auf der Versammlung der schweizerischen naturforschenden Gesellschaft zu Luzern im Jahre 1834 las er ein Memoire vor, in welchem er die Hauptergebnisse seiner in Gemeinschaft mit Venetz betriebenen Untersuchungen kurz zusammenstellte[8]). Außer den durch ihre häufige Scharfkantigkeit, ihre Stellung und Verteilungsweise den Transport durch Gletscher bekundenden Findlingen und den durch ihre wirre Ordnungslosigkeit wie durch ihre wallartige Form sich als alte Moränen erweisenden Schutthügeln werden in denselben und hier zum erstenmale als drittes Dokument ehemaliger Riesengletscher die zahlreichen Abrundungen und Schliffe angeführt, welche bis hoch hinauf die der Verwitterung Widerstand leistenden Felswände aller derjenigen Thäler zeigen, aus denen erratische Blöcke entstammen.

Den früher betonten scheinbaren Widerspruch der zu solcher Gletscher-entfaltung notwendigen größeren Kälte mit der geologisch konstatierten höheren Temperatur früherer Epochen glaubte er vorläufig durch die Annahme lösen zu können, daß die Alpen zur Zeit jener Gletscherentfaltung ein höheres Niveau gehabt hätten. Doch trotz der eingehenden Begründung ging man, wie früher auf dem St. Bernhard, so auch in Luzern über die vorgetragene Hypothese mit stiller Zurückweisung hinweg, ohne dieselbe einer näheren Diskussion zu unterziehen.

Desto lebhafter sollte der Streit um dieselbe zu Neuenburg auf der Versammlung des Jahres 1837 geführt werden[9]). Als Präsident eröffnete Agassiz die Sitzung mit einer Rede, in welcher er seine, mit der Venetz-Charpentier'schen Ansicht verwandte, wenn auch nicht völlig übereinstimmende Hypothese der ehemaligen Vereisung des nördlichen Europa vor einer zahlreichen Gesellschaft von Naturforschern entwickelte. Die neue, durch Charpentier's Memoire ihm bekannt gewordene Lehre hatte anfangs wenig Glauben bei ihm gefunden, und nicht ohne Hoffnung, seinen Freund auf seinem eigenen Boden schlagen und von seinen, wie er meinte, überspannten Ansichten zurückbringen zu können, hatte er sich im Sommer des vorhergehenden Jahres nach Bex begeben, um unter Charpentier's kundiger Führung fünf Monate hindurch die dortigen durch Gletscher wie erratische Erscheinungen für die strittige Frage gleich lehrreichen Gegenden eifrigst zu durchsuchen. Auch bei ihm siegte, wie früher bei Charpentier, die Beweiskraft der Thatsachen über die vorgefaßte Meinung. Agassiz kam als bekehrter Anhänger der neuen Anschauungsweise nach Neuenburg zurück, um zunächst während des folgenden Winters in einer Reihe von öffentlichen Vorträgen, und dann am 24. Juli des folgenden Sommers in jener Eröffnungsrede als eifriger Verfechter derselben aufzutreten. Hier mußten die von ihm entwickelten Ideen um so größere Sensation erregen, als er ungleich weiter ging, als Venetz und Charpentier. Hatten letztere sich auf die Annahme großartiger, die Thäler ausfüllender Gletscher beschränkt, so setzte Agassiz eine allgemeine Vereisung voraus. In einer gegen Ende der Tertiärzeit und noch vor Entstehung der Centralalpen eingetretenen Epoche intensiver Kälte sollte eine endlose zusammenhängende Eiskruste von den Porlargegenden her über den größten Teil der nördlichen Erdhälfte sich erstreckt haben, aus welcher nur die höchsten Gipfel der damaligen Berge hervorgeragt hätten. Bei der Erhebung der Alpen stürzten auf die mit emporgehobene und durchbrochene Eisdecke zahlreiche, durch die gewaltsame Umwälzung losgerissene Felstrümmer, welche, sei es durch das Fortgleiten auf der geneigten glatten Bahn, sei es durch die Abwärtsbewegung der sie tragenden Eismasse, in entfernteste Gegenden gelangen konnten. Zugleich wird von Agassiz auch schon darauf hingewiesen, wie die sich abwärts schiebenden Eismassen unter sich eine Schicht zerriebenen Materiales bilden und außerdem durch dasselbe den Felsuntergrund nicht blos abrunden und polieren, sondern auch ritzen und schrammen mußten,

und so finden sich hier schon zwei weitere, in ihrer vollen Bedeutung erst später erkannte Glazialphänomene, die Grundmoräne und der gekritzte Fels, wenigstens andeutungsweise erwähnt. Die von Agassiz in seiner Eröffnungsrede entwickelten Ansichten führten in der Sitzung der geologischen Sektion zu einer lebhaften Diskussion, welche eingeleitet wurde durch die Verlesung eines Briefes von dem jüngeren De Luc, in welchem dieser gegen die von Charpentier in seinem Memoire aufgestellte Hypothese zu Gunsten der herrschenden Stromtheorie auftrat. Der anwesende L. von Buch griff die neue Lehre, gegen welche er auch später sich stets mit einer gewissen Gereiztheit ablehnend verhalten hat, mit Entschiedenheit an, während Agassiz unterstützt von Charpentier und Blanchet, dieselbe verteidigten. In der Sitzung des folgenden Tages sollte dann die Streitfrage nochmals zur Sprache kommen infolge eines mittlerweile eingelaufenen Briefes von Schimper aus München. Dieser verdiente Botaniker war schon früher durch dem organischen Reiche entstammende Zeugnisse, wie das Vorkommen von Mammutkadavern im Eise Sibiriens, die Existenz gleichartiger Eistiere auf den Alpen und im Norden, zur Annahme einer allgemeinen, von ihm zuerst als Eiszeit bezeichneten Kälteperiode geführt worden und hatte seine Ansicht durch die zum Teil in Gemeinschaft mit Charpentier und Agassiz auf schweizerischem Boden angestellten Untersuchungen auch im unorganischen Reiche vollauf bestätigt gefunden.

So vereinigten sich mehrere Umstände dahin, diese Neuenburger Naturforscherversammlung zu einem Markstein für die Geschichte der Glazialgeologie zu machen. Von nun an findet letztere nicht bloß bei den Schweizer Naturforschern in dem Maße Beachtung, daß sie für die Folge deren Versammlungen fast ausnahmslos jedes Jahr bis jetzt in hervorragender Weise beschäftigte, sondern sie fesselt auch bald über die Grenzen ihrer engeren Geburtsstätte hinaus das Interesse der Geologen. Anfangs noch Gegenstand lebhafter Kontroverse, gelangte sie nach und nach zur allgemeinen Anerkennung. Namentlich sind es für die erste Zeit Agassiz und Charpentier, welche die von ihnen verkündete Lehre auch durch die umfassendsten Beobachtungen und Untersuchungen in eingehender Weise zu begründen suchten. Schon gleich nach seiner Rückkehr von Bex im Herbste 1836 hatte Agassiz mit seinem durch die vorhergegangenen Beobachtungen geschärften Auge in den sog. Waschflächen auf den Abhängen des Neuenburger Jura unzweideutige Eisschliffe erkannt. Seitdem verfolgte er mit unermüdlicher Ausdauer im Jura wie in den Alpen den ihm lieb gewordenen Gegenstand, unterstützt und begleitet von seinen Freunden und Kollegen, von denen insbesondere Ed. Desor zugleich als eifriger Berichterstatter der unternommenen Reisen zu nennen ist. Vornehmlich sind es zunächst die vielverbreiteten, gerundeten und polierten Felsflächen mit ihren zuerst von ihm in die Diskussion gebrachten geradlinigen, meist unter sich und mit der Thalsohle

parallel verlaufenden Streifen und Furchen, denen seine Nachforschungen galten. Zwar hatte schon Saussure nicht nur derartige Schliffflächen und abgerundete Felshöcker bemerkt und speziell diese als „roches moutonnées“ ausführlich beschrieben, sondern auch die erwähnten Streifen auf denselben beobachtet; doch sah er in den ersteren die abnutzende Wirkung strömenden Wassers und letztere leitete er aus besonderen Structurverhältnissen der Felsarten ab. Agassiz suchte beide Bildungen als Zeugen früherer Gletscherthätigkeit zu erweisen. Nachdem er im Herbste 1837 die Felsschliffe im waadtländischen, Solothurner und argauischen Jura untersucht hatte, ward im folgenden Jahre seine Aufmerksamkeit in hohem Grade durch die so charakteristischen glatten Felswände im Haslithale und bald darauf durch nicht minder lehrreiche in der Montblankgegend gefesselt. Im darauffolgenden Sommer hatte er die Genugthuung, daß der ihn begleitende erste Geologe der Schweiz, B. Studer, bis dahin Anhänger der Stromtheorie, beim Auffinden der Felsschliffe auf dem Riffel oberhalb Zermatt, der neuen Lehre sich zuwandte. Das Gesamtresultat seiner ausgedehnten seitherigen, zum Teil gelegentlich schon veröffentlichten Untersuchungen stellte er in einem 1840 erschienenen größerem Werke zusammen, in welchem er zugleich die herrschende Stromtheorie einer vernichtenden Kritik unterzog[10].

Nicht minder eifrig hatte mittlerweile auch Charpentier hauptsächlich im Rhonethale seine Untersuchungen fortgesetzt. Von Venetz, dem seine vielfachen Berufsarbeiten zu schriftstellerischer Thätigkeit nicht die nötige Zeit ließen, dazu aufgefordert[11]), veröffentlichte auch er die Resultate seiner elfjährigen Studien in einem kurz nach dem Erscheinen der Agassiz'schen Arbeit herausgegebenen Werke, welches, gleich ausgezeichnet durch Klarheit der Darstellung und logische Schärfe, wie reichste Fülle beweisender Thatsachen, an fundamentaler Bedeutung für die Glazialtheorie das Agassiz'sche Werk noch überwiegen dürfte[12]). Wie Agassiz, so stellt auch er der Unhaltbarkeit aller früheren Erklärungsversuche die Evidenz gegenüber, mit welcher die Gesamtheit aller in Frage stehenden Phänomene aus der Wirksamkeit großartiger, langsam sich abwärts bewegender Eismassen sich herleiten lasse.

Doch halten sie beiderseits an den abweichenden Modifikationen ihrer Auffassungen fest. Agassiz, beeinflußt durch Cuvier's damals noch herrschende Lehre von periodischen, mit der jedesmaligen Vernichtung sämtlicher Lebewesen verbundenen Katastrophen, ging auch jetzt noch von der Annahme aus, daß der Abkühlungsprozeß der Erdrinde nicht in allmählich und gleichmäßig verlaufender Weise, sondern in regelmäßigem Rythmus zwischen längeren Zeiträumen höherer, lebenbringender Wärme, und kürzeren Pausen verödender Kälte vor sich gegangen sei; die letzte dieser Kälteperioden habe für fast ganz Europa, Nordasien und Nordamerika eine allgemeine Vereisung im Gefolge gehabt. Charpentier dagegen kennt für das Sinken der Temperatur seit den ältesten Perioden bis zur Gegenwart nur einen gleichmäßigen Verlauf. Abweichungen von

demselben durch Eintreten größerer Kälte sind bei ihm bloß Folge lokaler Ursachen und ihre Wirkungen deshalb auch von lokaler Beschränkung. Er läßt demgemäß nur isolierte Vergletscherungsgebiete zu, wie für die Alpen, so für Skandinavien, die Pyrenäen, Nordamerika. Zugleich betont er auch schon den Umstand, daß neben größerer Kälte ein zweiter Faktor von gleichem Belange für Gletscherentfaltung in reichlicherem Feuchtigkeitsgehalte der Luft bestehe. Diesem Faktor fällt sogar in seiner neuen Erklärungsweise die Hauptrolle zu. Hatte er früher in einer ehemals größeren Höhe der Alpen und damit verbundenen größeren Kälte die Ursache ihrer Vergletscherung gefunden, so suchte er letztere jetzt in erster Linie durch reichlichere Wasserdünste zu erklären, welche sich bei der Gebirgsbildung aus den zahlreich entstandenen Rissen und Spalten entwickelt hätten.

Dieser Gegensatz zwischen der Agassiz'chen Vorstellung allgemeiner Vereisung und Charpentier's Annahme partieller Vergletscherungen wurde jedoch einige Jahre nachher wesentlich abgeschwächt, als sie beiderseits ihre Anschauungen modifizierten. Agassiz zog der nördlichen Eiskalotte ungleich engere Grenzen und nahm davon getrennte Gebiete ausgedehnter Vereisungen an. Auch ersetzte er seine frühere Vorstellung plötzlicher, infolge unerklärter rein tellurischer Eigentümlichkeit hereinbrechender Kältekatastrophen durch eine der Adhémar'schen Hypothese kosmischer Einwirkung entsprechende Anschauung. Charpentier gab seinerseits in einem gleichzeitig veröffentlichten Aufsatze[13]) für die nördliche Hemisphäre, in Europa wie in Sibirien und Nordamerika, eine vom Nordpol bis etwa zum 60 Breitengrade hinabreichende Schnee- und Eishaube zu, welche er sich vom 60. bis 70. Parallelkreise in Form von Gletschern und von da bis zum Pole als Firnmasse vorstellte[14]). Auch mag nicht unerwähnt bleiben, daß er sich bezüglich der Findlinge in der norddeutschen Ebene für eine stattgehabte Verfrachtung derselben mittelst schwimmender Eismassen ausspricht.

Jene von Agassiz wie von Charpentier aufgestellte, übrigens nicht auf eigene Anschauung, sondern nur auf die Beschreibung der nördlichen Gegenden durch Durocher, Böthlingk, Selfström und andere sich stützende Hypothese einer vom Nordpol als Centrum ausgehenden breiten Eishaube mußte bald nachher erheblich abgeändert werden. Das genauere Studium der zahlreichen Schrammen und Furchen auf den anstehenden Felsplatten Skandinaviens ergab, daß diese unzweideutigen Zeugen stattgehabter Gletscherfriktion vom skandinavischen Gebirge aus nach allen Richtungen, wie nach Süden, so auch nach Osten und Nordosten radial verlaufen. Man mußte deshalb das skandinavische Gebirge als besonderes Centrum einer weit ausgedehnten Vergletscherung ansehen, neben welchem für den Norden Amerikas ein zweites derartiges Centrum angenommen ward.

Damit war dann im großen und ganzen diejenige Vorstellung bezüglich des Umfanges der eiszeitlichen Gletscherentfaltung präcisiert, welche gegen Mitte dieses Jahrhunderts zur Herrschaft gelangte, sich

immer mehr befestigte und erst in allerneuester Zeit speziell in Bezug auf den Norden einem erheblichen Wandel unterworfen ist.

Doch gingen auch bezüglich der Ausdehnung der ehemaligen Eisentfaltung die Ansichten längere Zeit auseinander; die Thatsache selbst, daß eine solche stattgefunden habe, wurde um so mehr jedem Zweifel entrückt, je eingehender die Untersuchungen betrieben wurden. Es ist hier zunächst der wichtigen Untersuchungen A. Guyot's sowie derjenigen des jüngeren Escher von der Linth zu gedenken. Mit größter Sorgfalt und Gründlichkeit erforschte Guyot unermüdlich viele Jahre hindurch Natur, Herkunft, Marschroute, Verteilungsweise und Höhenlage speziell vorerst derjenigen erratischen Blöcke, welche über die Schweizer Ebene vom Züricher bis Genfer See und über die Juragehänge ausgestreut sind. In Übereinstimmung mit der oben erwähnten Behauptung L. v. Buch's und des älteren Escher wies er nach, daß jenes ausgedehnte erratische Terrain aus vier besonderen, sich berührenden und an den Grenzen mehrfach in einander übergreifenden Gebieten besteht, dem Linth-, Reuß-, Aar- und Rhonegebiet, derart, daß die erratischen Blöcke jedes einzelnen Gebietes dem in dasselbe auslaufenden Thale entstammen. Es gelang ihm, die Grenzen der einzelnen Gebiete wenigstens in ihren Hauptzügen endgültig festzustellen und damit zugleich auch die Ausdehnung der vier Gletscher durch welche jene Felstrümmer über die zugehörigen Distrikte verfrachtet worden sind[15]. Die Untersuchungen des jüngeren Escher von der Linth[16]) verdienen hier nicht nur insofern Erwähnung, als sie das fünfte erratische Gebiet der nördlichen Schweiz, dasjenige des alten Rheingletschers, zum Gegenstande haben und demnach zu den Untersuchungen Guyot's, eine Ergänzung bilden, sondern auch aus dem Grunde, weil gerade hier in der Verteilung der Blöcke eine bis dahin noch unerwähnt gelassene, ausschließlich nur die Deutung durch Gletschertransport gestattende Erscheinung zu Tage tritt, wie sie in ähnlicher Weise auch anderswo, in gleicher Ausprägung und Beweiskraft kaum irgendwo sich wiederfindet. Wohl hatte beispielsweise für das Gebiet des ehemaligen Rhonegletschers schon Charpentier und B. Studer nachgewiesen, daß die für dasselbe charakteristischen, durch eingewachsene, lebhaft grüne Smaragditkrystalle ausgezeichneten Gabbroblöcke ihren Stammsitz einzig in dem Gebirge zwischen dem oberen Saas- und Nikolaithale haben und von dort aus in zusammenhängendem Zuge, jedoch lediglich über die linke Seite des Gletschergebietes, weithin abwärts bis auf den Jura ausgestreut liegen. Wohl hatte Guyot diese Erscheinung der kollateralen Verteilung der Blöcke als allgemeine Regel erkannt. Im erratischen Rheingebiet jedoch fand Escher für eine scharf markierte Felsart eine derartige Marschroute von frappantester Eigentümlichkeit. Diese Felsart ist eine Granit-Abänderung von porphyrartigem Gefüge, in welcher aus der grünlichen talkartigen Grundmasse weiße über 3 Centimeter lange gut ausgebildete und nach dem Karlsbader Gesetze zu Zwillingen

verwachsene Feldspatkrystalle sich scharf hervorheben. Ihr Stammsitz beschränkt sich auf den Ponteljastobel im Vorderrheinthale nördlich ob Trons, auf der Südseite des Bifertenstocks. Hier allein tritt jene Gesteinsart als anstehender Fels zu Tage, und von hier aus finden sich zahlreiche Trümmer dieses sog. Ponteljasgranits mehr oder minder dicht gedrängt dem Rheinthale entlang bis zum Bodensee ausgestreut, jedoch ausnahmslos der ganzen Länge nach einzig und allein auf der linken Thalseite, so ausnahmslos, daß auch nicht ein einziges Stück über den Rhein auf die andere Seite hinübergedrungen ist. Eine solche Seitenbeständigkeit in der Verteilung der Blöcke ist gerade hier um so auffallender, als das dortige Rheinthal einerseits von geringer Breite ist, und andererseits bei Chur seine Hauptrichtung unter einem rechten Winkel ändert. Zieht man dann noch den weiteren Umstand in Betracht, daß solche Ponteljasblöcke von Sargans aus auch in seitlicher Abzweigung durch das Wallenseethal, welches mit dem Vorderrheinthal einen spitzen Winkel bildet bis zum Züricher See sich verbreitet zeigen, so wird man es natürlich finden, daß die Beweiskraft der Gesamtheit aller hier obwaltenden, von Escher festgestellten Verhältnisse zwingend genug war, um auch diesen, in Schlußfolgerungen ebenso ängstlich vorsichtigen als in seinen Untersuchungen gewissenhaft gründlichen Forscher, trotz seiner Devise, daß „Zweifel besser als Irrtum"[17]), nach anfänglicher Skepsis zu einem überzeugten Anhänger der Glazialtheorie zu machen. Er erkannte und betonte, daß für eine solche Verteilungsweise der Ponteljasblöcke eine Erklärung durch Fluten oder schwimmende Eisschollen ausgeschlossen sei, und nur die Annahme eines Gletschers, der das Rheinthal durchzogen und über das Wallenseethal einen Seitenarm entsandt habe, die Thatsachen genügend zu erklären vermöge.

Nicht ohne wesentlichen Einfluß auf den Sieg der neuen Lehre war auch der Umstand gewesen, daß man neben den erratischen Blöcken, den Moränenwällen, den Rundhöckerbildungen und den Felsschliffen noch ein weiteres Phänomen als Wirkung der Gletscherthätigkeit kennen gelernt hatte, welches durch seinen scharf ausgeprägten Charakter wie durch sein massenhaftes Vorkommen für die Glazialgeologie von fundamentaler Bedeutung ist. Oben nur beiläufig erwähnt, mag es hier specieller hervorgehoben werden. Indem der Gletscher in zähem Flusse unaufhörlich, wenn auch unmerkbar langsam, seiner ganzen Länge nach sich vorwärts schiebt, trägt er nicht bloß auf seinem Rücken die hinauf gefallenen, als Seiten- oder Mittelmoränen in Reihen geordneten Felstrümmer mit sich abwärts, um sie schließlich über den abschmelzenden Stirnrand als Endmoräne abzuschütten, sondern er preßt und wälzt auch an seinem Grunde reichliches, vorwiegend vom Boden selbst herrührendes oder auf denselben von oben durch die Eisspalten wie durch die Zwischenräume an den Seitenwänden herabgefallenes, oder beim Vorrücken des Gletschers auch aus der Endmoräne gebildetes Material unter zerreibendem Drucke mit

sich fort. Charpentier hat diesem Materiale nur wenig Beachtung geschenkt. Er scheint die irrige Ansicht gehabt zu haben, es könne das Gletschereis auch unmittelbar und ohne härtere Schleifmasse die Felsen polieren, und nur um die Streifen und Schrammen auf den Schliffflächen erklären zu können, spricht er von zufällig unter den Gletscher geratenem, aus Sand oder kleinen Kieseln bestehendem Materiale. Agassiz dagegen faßt es als eine allgemeine und wesentliche Wirksamkeit der sich bewegenden Eismassen auf, solches Material in umfangreichstem Maße unter sich zu bilden. Schon in seiner Neuenburger Eröffnungsrede erklärt er die Schicht von losem Sand und Geröll, auf welchem die Blöcke des Jura zunächst ruhen, für ein derartiges Produkt und in seinen „Untersuchungen über die Gletscher" weist er dann auf ein Merkmal hin, welches über den fraglichen Ursprung derartiger Ablagerungen sicheren Aufschluß gewährt. Dieses Merkmal, als Gletscherspezifikum immer mehr und mehr erkannt und gewürdigt, ist das Vorkommen von Geschieben, welche mit geradlinigen Kritzen versehen sind. Vom Wasser fortgewälzte Geschiebe zeigen eine Oberfläche, welche matt löcherig und gekörnelt ist. Nur das Gletschereis vermag, indem es an seinem Grunde die losen Steine über den Felsboden hinschiebt, geradlinige Streifen zu verursachen. Auf der festliegenden Felssohle werden diese Streifen mehr oder minder parallel verlaufen, in gleicher Richtung mit dem sich bewegenden Eise und also auch mit der Thalneige. Auf den losen Geschieben dagegen, für welche eine häufige Drehung und Wälzung während der Fortbewegung nicht ausbleiben kann, werden diese Streifen nach allen Richtungen hin sich durchkreuzen und im allgemeinen ringsum an allen Seiten sich zeigen. Ob bei der gegenseitigen Reibung der anstehende Fels oder der lose Stein geritzt wird, hängt vorwiegend von dem relativen Härtegrade derselben ab, indem nur härteres Material in weicheres, beispielsweise Quarz in Kalkstein, einzuschneiden vermag, ein Umstand, auf dessen Wichtigkeit zur Erklärung des häufigen oder seltenen Vorkommens gekritzter Geschiebe und gekritzter Felsschliffe zuerst Collomb[18]) besonders aufmerksam machte. Dieses Kriterium der gekritzten Geschiebe ward für die weitere Entwickelung der Glazialgeologie im höchsten Grade fruchtbar. Wie Agassiz zuerst auf dasselbe hingewiesen hatte, so war er auch der erste, welcher dasselbe zur Deutung einer geologischen Ablagerung in einem gegebenen Falle verwertete, indem er 1840 dem sog. Till oder Blocklehm Schottlands auf Grund der Anwesenheit gekritzter Geschiebe in demselben einen subglazialen Ursprung zuschrieb. Doch gehört dem geistreichen und rührigen Botaniker und Geologen Charles Martins das Verdienst, diese Thätigkeit des Gletschers an seinem Grunde durch anschauliche Schilderung zu klarer Auffassung gebracht und zugleich für die durch sie geschaffene, von Agassiz als Gletscherschlamm bezeichnete Schicht mit dem Ausdruck Grundmoräne moraine profonde, eine treffende und allgemein adoptierte Bezeichnung gefunden zu haben. Eine solche Grundmoräne ist wesentliches Produkt eines jeden Gletschers, welches um so reichlicher auftreten wird, je mächtiger

derselbe entfaltet ist. Hinsichtlich der Rückenmoräne wird dieses Verhältnis ein umgekehrtes sein; je mächtiger der Gletscher ist, je weniger also die Felskämme über denselben hervorragen, desto relativ spärlicher wird dieselbe sein, und bei einer ausgedehnten Vereisung wird sie unter Umständen gänzlich fehlen. Die Grundmoräne eines alten Gletschers, von gleicher horizontaler Verbreitung, wie sie dieser besessen, und von größerer oder geringerer Mächtigkeit, wird sich als eine Schicht charakterisieren, welche mehr oder minder reichlich mit geritzten Geröllen untermischt, aus feinerem oder gröberem Detritus besteht und zwar in buntem und ordnungslosem Durcheinander, so weit nicht das Wasser nachträglich seine schichtende Wirkung daran ausgeübt hat. Die vorwiegend scharfkantigen Trümmermassen dagegen, mit welchen die Oberfläche des Gletschers in regelloser Vermengung von feinerem Schutt und großen Blöcken beladen ist, werden in derselben Ordnungslosigkeit nach und nach über die Endböschung hinunterfallen, um bei einem Rückzuge des Gletschers über eine größere Fläche verteilt als mehr oder minder vereinzelte Findlinge liegen zu bleiben, bei einem langsamen Vorrücken dagegen oder bei einem längerem Stillstande des Gletschers sich als Endmoräne zu einem hohen Stein- und Schuttwall anzuhäufen, welcher in Hufeisenform mit mit abwärts konvexer Biegung das Thal quer durchzieht, während seine Arme zu beiden Seiten oft noch als Längsmoränen mehr oder minder weit thalaufwärts sich erstrecken.

Eine zweite, eng mit der vorigen verknüpfte Wirkung des Gletschers auf seinen Untergrund äußert sich in mannigfaltigen Schichtenstörungen im Liegenden der Grundmoräne. Durch den mächtigen Druck und Schub, welchen der vorrückende Gletscher auf den Boden ausübt, wird er die unterliegenden Schichten im allgemeinen um so mehr auf die verschiedenartigste Weise biegen, falten, aufreißen, umwenden und zerfetzen, so wie Grundmoränenmasse keil und sackförmig in sie hineinpressen, je nachgiebiger und lockerer dieselben sind, jedoch so, daß alle diese Störungen nur die allernächsten Schichten treffen, während die tieferen unberührt bleiben. Auf diese Weise durch Gletscherschub umgestaltete und verarbeitete Schichten werden demnach durch ihre eigenthümlichen Formen, wie durch ihr ungestörtes Liegende und ihr aus Moräne bestehendes Hangende ein hinlänglich scharfes Gepräge zeigen, um mit Sicherheit als solche sich erkennen zu lassen, trotz der mannigfaltigen Art und Weise, auf welche sonst noch Schichtenstörungen hervorgerufen sein können. Lyell, welcher 1835 zuerst auf das Vorkommen derartiger auffallender Stauchungen diluvialer Schichten aufmerksam machte und in ihnen das Werk strandender Eisberge sah, fand solche 1873 in Italien bei Ivrea unter Verhältnissen, welche ihn nötigten, zu ihrer Erklärung Gletscherthätigkeit in Anspruch zu nehmen[19]. Während der letzten Jahren zahlreich in den diluvialen und oberen tertiären Bildungen insbesondere des Nordens von Europa und Amerika aufgefunden und beschrieben, als Werk der Gletscherthätigkeit

auf der einen Seite in Abrede gestellt, auf der andern entschieden verteidigt, bilden sie gegenwärtig einen wichtigen und integrierenden Bestandteil der Glazialgeologie. In seiner wichtigen, vor zwei Jahren erschienenen Abhandlung über dieselben kömmt Credner bezüglich der vielfach erörterten Frage, ob Gletscher in Wirklichkeit solche Stauchungserscheinungen hervorzurufen vermögen, durch seine eingehenden Erwägungen zu dem Resultate, daß eine Hauptbedingung dieser Möglichkeit erfüllt ist, wenn der Boden, über welchen der Gletscher sich fortschiebt, nicht stark sich neigt, sondern entweder horizontal oder flach ansteigend vor dem Gletscher liegt und so der Druck auf denselben bedeutend erhöht wird.

Indem man so einen großen Komplex geologischer Bildungen als das Werk früherer Gletscher zu erklären suchte, ward für die vergleichsweise winzigen Überbleibsel derselben, wie sie gegenwärtig auf die höchsten Tobel und Thäler der Alpen und anderer Gebirge sich zurückgezogen haben, in hohem Grade das Interesse gesteigert, welches diese wunderbare Naturerscheinung an sich schon bietet. Das Studium der Vorgänge, welche sich an die heutige Gletscherwelt anknüpfen, ward mit einem Eifer in Angriff genommen und bis auf den heutigen Tag weiter betrieben, welcher vor keinen Mühen und Beschwerden zurückscheute, und von welchem Dollfuss-Ausset's großes 13 Bände starkes Gletscherwerk ein beredtes Zeugnis ablegt. Auch in dieser Beziehung sind Agassiz's „Untersuchungen" und Charpentier's „Essai" von fundamentaler Bedeutung, neben welchen hier noch Rendu's gleichzeitig erschienene, erst in neuerer Zeit hinlänglich gewürdigte Abhandlung über die Savoyer Gletscher Erwähnung finden mag.

Vor allem war es naturgemäß die Bewegung der Gletscher, deren Gesetze und Ursache es zu ergründen galt. Denn nicht durch ihr Eis als solches, sondern lediglich durch dessen Bewegung wurden die früheren Gletscher das Agens für alle die umfangreichen und verschiedenen Bildungen, welche wir bis dahin erwähnt haben. Daß die Gletscher sich bewegen, war früher zwar von einem Forscher bestritten worden, doch schon seit lange allgemein bekannt, und daß für die Größe dieser Bewegung keineswegs, wie bis dahin irrtümlich angenommen war, die Verschiebung des Gletscherendes als Maßstab dienen könne, da in dieser lediglich die Differenz zwischen der Vorwärtsbewegung der Eismasse und der Zurückdrängung ihres Endes durch Abschmelzung ausgesprochen liege, hatte schon Hugi 1830 hervorgehoben[20]. In der richtigen Erkenntnis, daß die Punkte zur Beobachtung der Bewegung auf dem Gletscher selbst und an den beiderseitigen Ufern genommen werden müßten, hatte dieser kühne und eifrige Solothurner Alpenforscher 1827 die Entfernung der von ihm auf dem unteren Aargletscher als Nachtlager benutzten, aus Steinblöcken erbauten Hütte vom sog. „Abschwung" gemessen, und als er drei Jahre später dieselbe annähernd 700 Meter abwärts gerückt fand, war damit zum erstenmale eine nach richtigem Prinzip für die Gletscherbewegung ermittelte Zahl gewonnen[21]. Doch war Hugi's Me-

thode, wenn auch schon auf Triangulation basierend, viel zu primitiver Natur, als daß sich durch dieselbe die näheren Gesetze der Gletscherbewegung hätten ermitteln lassen. Hierzu bedurfte es der ungleich umfassenderen und detaillierteren Beobachtungen und Messungen, wie sie in immer präziserer Fragestellung und mit vervollkommneter Methode und Technik namentlich von Agassiz und seinen Neuenburger Freunden unter technischer Beihülfe des Geometers Wild in den Jahren 1841 bis 46 auf dem unteren Aargletscher[22]), von Forbes 1842 auf der Mer de Glace, von Tyndall 1857 bis 64 auf demselben wie auf anderen Gletschern, von Pfaff 1873 und 74 auf den Aletschgletscher, vor allem aber in neuester Zeit von Gosset[23]) in den Jahren 1874 bis 79 auf dem Rhonegletscher angestellt worden sind. Von den auf diese Weise gewonnenen Resultaten war für die Erklärung des erratischen Phänomens von besonderer Wichtigkeit der Nachweis, daß die Bewegung der Gletscher durch dieselben Gesetze beherrscht wird, wie diejenige der Flüsse. Gleich diesen bewegen sie sich, wie Forbes[24]) und Agassiz[25]) 1842 unabhängig von einander fanden, schneller in der Mitte als am Rande, und zwar, wie Tyndall[26]) 1857 erkannte, in der Weise, daß bei Krümmungen die Linie der Punkte schnellster Bewegung etwas zur konvexen Seite hinüberrückt; ferner bewegen sie sich, wie ebenfalls Tyndall beobachtete, schneller an der Oberfläche als am Grunde.

Einerseits gaben die so genauer erkannten Bewegungserscheinungen Aufschluß über die Natur des Gletschereises und die Ursache ihrer Bewegung. Hatte Saussure, wie schon früher Altmann (1751) und Gruner (1760) angenommen, daß diese Bewegung als einfaches Gleiten der starren Eismassen über eine geneigte Ebene hin zu deuten sei, hatte dann J. v. Charpentier die schon von Scheuchzer aufgestellte sog. Dilatationstheorie näher zu begründen versucht, nach welcher die Bewegung durch das Gefrieren des eingedrungenen Schmelzwassers und seine damit verbundene Volumenvermehrung hervorgerufen werden soll, so ergab sich aus jenen Bewegungserscheinungen, daß dasselbe Eis, welches sich dem Zuge gegenüber höchst spröde und brechbar zeigt, dem Drucke gegenüber sich als eine zähe und knetbare Masse verhält. Zwar hatte schon Bordier 1773 die Gletschermasse mit erweichtem Wachs verglichen, doch hatte seine Ansicht keine Beachtung gefunden und war längst vergessen, bis wieder Rendu 1841 und wohl unabhängig davon Trümpler[27]) eine ähnliche Auffassung aussprachen, welche dann von Forbes durch eine Reihe von Abhandlungen eingehend begründet und zum Range einer Theorie erhoben wurde. Durch zahlreiche, in neuester Zeit angestellte Versuche fand diese Gletschertheorie ihre Bestätigung; es zeigte sich, daß in der That das Eis nahe seinem Schmelzpunkte ein im höchsten Grade plastischer Körper ist[28]).

Von der anderen Seite, und das mag zur Rechtfertigung dieser Abschweifung auf ein sonst außerhalb des Rahmens dieser Abhandlung liegendes Gebiet dienen, wurden diese Beobachtungen von großer Wichtig-

keit zur Begründung der Rolle, welche den Gletschern als geologischem Faktor zugeschrieben wurde. Es wurde dadurch der Einwand entkräftet, daß die angenommenen Riesengletscher bei ihrem äußerst geringen Gefälle sich nicht hätten bewegen können. Wohl hatte schon J. v. Charpentier auf Grund seiner Dilatationstheorie betont, daß auch auf ebener Fläche die Gletscher sich hätten vorwärts bewegen müssen; aber die Richtigkeit seiner Theorie war mit gewichtigen Gründen in Zweifel gestellt worden. Mußte man dann aber auch mit Forbes annehmen, daß die Gletscher in ihrer Bewegung nur dem Zuge der Schwere folgen, so wurde durch den Nachweis ihrer großen Plastizität, oder nach der Bezeichnung von Forbes, ihre Viscosität, jene angezweifelte Möglichkeit dargethan. Denn bewegen sich die heutigen Gletscher trotz relativ ungleich größerer, ihre Verlangsamung an den Rändern und am Grunde bewirkenden Reibung selbst bei geringem Gefälle unaufhaltsam weiter, so mußten die Gletscher der Vorzeit bei ihrer verhältnismäßig ungleich geringeren Reibung auch bei viel geringerer Neigung sich vorwärts bewegen können; sie vermochten nicht bloß über eine horizontale Fläche sich zu bewegen, sondern sogar auf eine ansteigende sich hinaufzuschieben.

Wenn übrigens auch mit dem Nachweis ihrer Bewegung zugleich ihre Transportthätigkeit außer Zweifel gestellt war, so doch nicht ohne weiteres auch die ihnen zugeschriebene Friktionswirkung. In der That stellte der jüngere De Luc, wohl von allen der enragierteste Gegner der Glazialtheorie, entschieden in Abrede, daß Gletscher Felsen zu polieren und zu ritzen imstande seien[29]). Doch konnte dieser Einwand leicht entkräftet werden durch den Hinweis auf die zahlreichen, in ausgeprägtester Weise moutonnisierten, geglätteten und geschrammten Felsflächen, welche in unmittelbarstem Konnex mit den heutigen Gletschern sich zeigten. Namentlich haben gerade in den letzten Jahren die Gletscher infolge ihres allgemeinen und ziemlich bedeutenden Rückzuges die ausgezeichnetsten Schliffe zu Tage kommen lassen. Wohl aber gehen bis heute noch die Ansichten darüber auseinander, bis zu welchem Grade die Gletscher in oben erwähnter Weise Schichten zu stauchen, und insbesondere, worauf später zurückzukommen ist, in wieweit sie lose Massen fortzuschaufeln imstande sind.

Mit den bis jetzt erwähnten Phänomenen sind noch nicht alle Elemente erschöpft, aus denen sich der Gesamtkomplex der glazialen Bildungen zusammensetzt. Jene sind Produkte der Transport- oder Friktionsthätigkeit des Eises der Gletscher; es gesellen sich noch diejenigen hinzu, welche von der Wirkung des Wassers derselben herrühren.

Zunächst kommt hier die Ablagerung der Glazialschotter in Betracht. Indem während der Sommertage das Gletschereis an seiner Oberfläche schmilzt, gelangt das so gebildete Wasser durch zahlreiche Spalten und Klüfte auf das Bett des Gletschers und strömt unter seinem Ende als wilder Bach hervor, der schon durch seine schmutzig graue

Farbe den reichen Gehalt an fein zerriebenem Schlamm und Sand bekundet. Die Größe des Baches hängt von der Größe des Gletschers ab, und den Riesengletschern der Vorzeit mußten Fluten entströmen, welche ein enormes Schlammmaterial mit sich führten, um es in geringerer oder größerer Entfernung abzusetzen. Während der Gletscher vorrückte, bedeckte er diese vorliegenden Schotter mit der Grundmoräne, auf welche er dann bei seinem Rückzuge die Felstrümmer der oberflächlichen Moräne schüttete, um unter Umständen über die Moränenschicht wieder Schottermassen abzulagern. Als solche Glazialschotter wurden zuerst von Ch. Martins und Gastaldi[30]) 1848 die ausgedehnten, fossilfreien Diluvialschichten erkannt, welche in der Poebene in großer Mächtigkeit das Liegende der dortigen Moränenzüge bilden. Auch empfahlen sie bereits den Umstand dem Nachdenken der Geologen, daß die dortigen Moränen von Schottermassen nur unterteuft, nicht auch überlagert sein, also eine bedeutende Anhäufung der letzteren nur während des Vordringens der Gletscher und nicht auch während ihres Rückzuges stattgefunden habe, obwohl doch gerade während des letzteren infolge des Abschmelzens die Wassermassen ungleich größere gewesen seien. Ihre behufs Erklärung dieser Erscheinung gemachte Unterstellung, daß dieses Abschmelzen nur äußerst langsam erfolgt sei, schien ihnen selbst nur ein Notbehelf. Sie hatten übersehen, daß für die Bildung von Schotter weniger die Menge des Wassers der Ausschlag gebende Faktor ist, als vielmehr der Reichtum an suspendierten Schlammteilen, dieser aber vorwiegend mit der herannahenden Vergletscherung verknüpft ist. Wie kompliziert übrigens die gegenseitigen Lagerungsverhältnisse beider Bildungen, der Moräne und des Schotters, sich vielfach gestalten, lehren Penck's neueste Untersuchungen über ihr Vorkommen im süddeutschen Vergletscherungsgebiet. Zudem bilden diese Schlemmprodukte das massenhafteste und zugleich verbreitetste Glied der Glazialformation, welches weit über die Grenzen der ehemaligen Gletscherbereiche hinaus dem Laufe der Flüsse entlang unter äußerst verwickelten Verhältnissen zur Entfaltung gekommen ist. Es braucht deshalb nicht zu befremden, daß auf diesem Untersuchungsfelde noch manches arg im Dunkeln liegt. Ist doch die hier einschlägige Frage nach der Bildung des Löss, dieser eigentümlichen Lehmart, welche einen so enormen Bestandteil der diluvialen Ablagerungen ausmacht, und speziell nach dem Anteil, welchen die alten Gletscher an ihr genommen haben, als „das schwierigste geologische Problem" gegenwärtig noch Gegenstand lebhaftester Kontroverse.

Das Schmelzwasser der Gletscher ist jedoch nicht bloß mit einer höchst bedeutenden Transportthätigkeit verknüpft, sondern auch mit einer Erosionsthätigkeit, welche unter Umständen scharf ausgeprägte Formen zu schaffen vermag. In zahlreichen, mehr oder minder senkrechten Spalten und Schloten stürzt dasselbe von der Oberfläche des Gletschers mit Wucht auf den Untergrund, und wenn ein solcher Strahl, Walke

oder Gletschermühle genannt, längere Zeit hindurch dieselbe Stelle trifft, wird er dort eine Aushöhlung verursachen und diese unter Umständen mittelst hineingeratener und herumgewirbelter Scheuersteine in Verbindung mit der auflösenden Kraft des Wassers zu einem kreisrunden, mehr oder minder breiten und tiefen Loche ausbohren; ganz in derselben Weise, wie auch im Bette reißender Flüsse durch Wasserfälle und Stromschnellen solche Strudellöcher gebildet werden. Derartige brunnenförmige Vertiefungen, in Skandinavien seit alters berühmt, waren hier vielfach auf anstehenden Felsbänken an Stellen gefunden worden, wo ihre Bildung durch Wasserstrudel undenkbar erscheinen mußte. Die dortige Volkssage hatte sie in Beziehung zu einem früheren Riesengeschlechte gebracht und sie als Riesenkessel oder Riesentöpfe gedeutet und bezeichnet. Wissenschaftlich unter diesem Namen seit Mitte vorigen Jahrhunderts in mehreren Abhandlungen erwähnt und beschrieben, wurden sie teils als das Werk brandender Meereswogen, teils als Zeugen einer Diluvialflut angesehen[31]. Agassiz war der erste, welcher 1838 eine derartige Vertiefung im Felsboden des Haslithales als das Werk einer Gletschermühle deutete und auch den Riesentöpfen Skandinaviens einen gleichen Ursprung zuzuschreiben geneigt war[32]. In größerer Anzahl wurden um dieselbe Zeit solche Felsaushöhlungen von Charpentier im Wallis beobachtet und auf dieselbe Weise gedeutet. Seitdem als weit verbreitete Erscheinung erkannt und zahlreich in teilweise höchst typischer Ausbildung und absonderlicher Lage aufgefunden, sind sie für die Glacialtheorie zu wichtigen Belegen geworden. Wohl ist in manchen Fällen die Entscheidung nicht leicht, ob die vorliegenden Vertiefungen überhaupt durch Wasserstrudel und speziell durch Gletschermühlen gebildet worden sind, oder ob sie als sog. geologische Orgeln, wie solche zuerst aus der Maestrichter Kreide bekannt wurden, ihre Entstehung der auflösenden Wirkung von Sickerwasser verdanken. Doch giebt es ebenso zahlreiche Fälle, wo der Zweifel an ihren glazialen Ursprung ausgeschlossen ist. Es mag genügen, auf den 1872—75 durch Wegräumen der Grusschicht bloßgelegten sog. Gletschergarten in Luzern hinzuweisen, in welchem nicht weniger als 16 mehr oder minder große Strudellöcher von vollendetster Ausbildung auf einen engen Raum zusammengedrängt, durch ihre Form wie durch ihre Lage für die ehemalige Anwesenheit einer mächtigen Eisdecke, des Reußgletschers, ein unanfechtbares Zeugnis ablegen.

Von zweifelhafterem Werte als Zeugen früherer Vergletscherung haben sich die häufigen, wohl ohne Frage durch erosive Wasserthätigkeit entstandenen Furchen und Rinnen auf der Oberfläche anstehender Felsen erwiesen, welche in der Schweiz, wenigstens da, wo sie dicht gedrängt unmittelbar neben einander vorkommen, den Namen Karrenfelder oder Schratten führen. Doch dürfte ihre Erwähnung durch den Umstand motiviert sein, daß sowohl Agassiz in seinen „Untersuchungen“, als Charpentier in seinem „Essai“ ihre Entstehung mit früheren Gletschern

in Verbindung brachten und in neuester Zeit insbesondere auch Rothpletz[88]) eine Eisdecke an ihrer Bildung beteiligt sein läßt.

Bis dahin handelte es sich um solche Spuren von Gletscherwirkung, welche rein oder doch vorwiegend geologischer Natur sind. Es lag die Frage nahe, ob so gewaltige Eismassen nicht auch auf die Bodenkonfiguration einen bleibenden Einfluß ausgeübt und so Spuren zurückgelassen haben, welche zugleich topographischen Charakters sind.

Zunächst und wesentlich verdient in dieser Hinsicht die lebhaft umstrittene Kontroverse Erwähnung, bis zu welchem Grade und Umfange die Gletscher an der Bildung von Seen beteiligt gewesen sind.

Doch ist hier zu trennen. Die eine Art von Seebildung, diejenige mittelst Absperrung oder Eindämmung konnte nicht Gegenstand eines solchen Streites um eine verschiedene Grundanschauung werden, wenn auch in den speziellen Fällen eine abweichende Deutung nicht ausgeschlossen ist. Der Gletscher kann einmal unmittelbar durch sein Eis ein Thal absperren und in einen See verwandeln, etwa in der Art, wie der Märjelensee durch den Aletschgletscher aufgestaut wird. Charpentier hat in seinem Essai die Entstehung solcher Seen und die Bildung ihrer Ablagerungen, das „alluvium glaciaire" der heutigen und das „diluvium glaciaire" der früheren Gletscherseen, eingehend erörtert. Agassiz[83]) erklärte auf diese Weise die Entstehung der zuerst von Darwin beschriebenen Parallelsimse oder Terrassen des Roy-Thales in Schottland durch die Annahme, daß ein vom Ben-Nevis herabsteigender Gletscher sich als Riegel vor die Mündung jenes Thales schob, und seine Erklärungsweise hat allgemeine Zustimmung seitens der Geologen gefunden. Liegen in diesem Falle nur die Spuren eines ehemaligen Sees vor, welcher mit dem Rückzuge des Gletschers sich entleeren mußte, so haben sich dagegen in großer Anzahl dauernd solche Seen erhalten, welche von Gletschern mittelst aufgehäufter Moränen, sei es mittelst Seiten-, sei es mittelst Endmoränen, ab- und eingedämmt wurden. In der Regel klein, wenig tief mit flachen, oft moorigen Ufern, finden sich diese „Moränen-Seen" vorwiegend im Grenzgebiete der alten Gletscher. Nach Penck's neuesten Untersuchungen können die Gletscher endlich nicht bloß durch ihr Eis und ihre Moränen, sondern auch durch ihre Schotterablagerungen ein Thal zu einem See abdämmen. Auf solche Weise denkt er sich den Achensee als den oberen Zipfel eines Nebenthales vom Inn, welcher durch vorgelagerte Glazialschotter zu einem See aufgestaut und sogar seiner früheren Zugehörigkeit zum Innthale verlustig gegangen sei, und ein zweites Beispiel eines derartigen Vorkommnisses glaubt er im Plansee gefunden zu haben.

Bot, wie gesagt, diese Art von Seebildungen durch abdämmende Gletscherwirksamkeit keinen Stoff zu prinzipiellem Bedenken, so wurde um so lebhafter der Streit um die Frage geführt, ob die Gletscher auch durch

Aushöhlung Seen zu bilden imstande seien. In dieser Beziehung standen und stehen noch die Ansichten in der Weise diametral gegenüber, daß die einen im Gletscher einen mächtig wirkenden Hobel, die anderen eine schützende, die „Thalbildung stille stellende“[35]) Decke erblicken. Die älteste, meines Wissens unbeachtet gebliebene, bezügliche Andeutung findet sich bei Venetz, welcher, wenn auch nur beiläufiger Weise und ohne alle Begründung, schon 1821 in seiner preisgekrönten Abhandlung (S. 33) die Existenz der zahlreichen kleineren Seen auf den Alpen durch die ausschärfende Wirksamkeit früherer Gletscher erklärte. In Diskussion ward die Frage zuerst durch Gabriel de Mortillet gebracht, welcher am 4. Juli 1859 der französischen geologischen Sozietät und Ende Dezember des folgenden Jahres der italienischen naturwissenschaftlichen Gesellschaft seine Ansichten über die aushöhlende Wirksamkeit der Gletscher auseinandersetzte und sie 1863 im Anschluß an eine zustimmende Note Gastaldis in einer dritten Abhandlung[36]) gegen die Einwände von Ball und die abweichende Auffassung von Desor verteidigte und näher begründete. Er suchte eine Erklärung für die auffallende Erscheinung, daß am Südende der großen norditalienischen Seen unter der oberflächlichen Moränenmasse als Liegendes eine Diluvialschicht, „alluvion ancienne“, sich findet, deren Material aus den dort einmündenden Nebenthälern stammt. Wann und wie gelangte dieses Material dorthin? Als es sich ablagerte, konnten jene Seen in ihrer heutigen Erscheinung, als tiefe Wasserbecken, nicht existieren, denn diese hätten demselben nicht den Durchgang gestattet, es vielmehr als Bodensatz in sich zurückbehalten. Eine Lösung dieses Rätsels glaubte Mortillet in der Annahme zu finden, daß sich die dortigen infolge der Alpenerhebung entstandenen Seebecken vor der Glazialzeit nach und nach mit eingeschwemmtem Schotter angefüllt hätten und dieser dann durch die vorrückenden Gletscher wieder hinaus geschaufelt und unterhalb der Seen abgelagert worden sei. Auch sollten nach ihm die Gletscher nicht bloß imstande gewesen sein, schon vorhandene Bassins solcher durch die Schichtenaufrichtung bedingten Seen, der sog. „orographischen Seen“ Desors, von den eingelagerten losen Geröllmassen wieder zu säubern; er schrieb ihnen vielmehr auch noch die Fähigkeit zu, wenig Widerstand leistende Schichten, wie die Molasse, durch ihre nagende Kraft auszuhöhlen und so jene „Erosionsseen“ Desor's zu bilden, welche, weil Vertiefungen in horizontal gelegenen Schichten, nicht vom geologischen Bau der Gegend abhängig sind und deren Entstehung Desor der aushöhlenden Thätigkeit mächtiger präglazialer Ströme zuschrieb.

Gleichzeitig mit Mortillet faßte auch Ramsay die Frage nach dem Ursprung der Seen näher ins Auge, jedoch von einem andern Gesichtspunkte aus. Ward Mortillet hauptsächlich durch geologische Verhältnisse bewogen, die Gletscher in aktiver Weise an der Bildung derselben Anteil nehmen zu lassen, so ward Ramsay zu derselben Anschauung durch geographische Verhältnisse geführt, welche für das Vorkommen vieler Seen charakteristisch sind. Der große Reichtum an denselben inner-

halb des Bereiches der alten Gletscher und das genaue Zusammenfallen der Grenzen ihrer beiderseitigen Gebiete, so wie die Übereinstimmung der Richtung der Seen mit derjenigen der einzelnen Gletscher zeigt zwischen Seenentfaltung und Glazialphänomen einen auffallenden innigen Konnex. Ramsay war der Erste, welcher auf denselben hinwies und in ihm nicht ein zufälliges Zusammentreffen, sondern eine direkt kausale Beziehung erblickte. In ähnlicher Weise, wie Mortillet, aber bis zu einem noch höheren Grade, schreibt er deshalb den Gletschern eine energische Erosionskraft zu, welche, je nach der verschiedenen Widerstandsfähigkeit des Gesteins und nach der lokal verschiedenen Wucht der Eismasse in ihrer Wirkung variierend, einen großen Teil der Alpenseen gebildet habe[37].

Ungleich weiter und bis zum Extrem in der Verfechtung erodierender Gletscherwirkung ging Tyndall. Hatte Ramsay den Gletschern vorwiegend an ihrem unteren Ende, da wo sie aus dem Thale auf die Ebene tretend sich nach seiner Ansicht zu größerer Mächtigkeit zusammenschoben, eine intensive Erosionswirkung zugeschrieben, so verlegte Tyndall dieselbe mehr in die höheren Teile. Nach ihm sollten die Gletscher nicht nur an der Aushöhlung der Seen, sondern auch an derjenigen der Thäler den wesentlichsten Anteil genommen haben.

Wurde diese Ansicht Tyndalls fast einmütig von sämtlichen Geologen, auch von Ramsay, als extravagant und unhaltbar verworfen, so waren und blieben die Meinungen geteilt über die Berechtigung der Mortillet-Ramsay'schen Auffassungsweise, und auch heute noch, nach nunmehr zwei Jahrzehnte hindurch lebhaft darüber geführtem Streite, stehen dieselben sich schroff gegenüber. Von den Gegnern der Theorie wurden zahlreiche Einwände erhoben, indem sie unter anderm hinwiesen auf die Wirkungsweise heutiger Gletscher, deren unteres Ende oftmals über loses Vorland sich hinschiebe, ohne es im mindesten zu stören, oder auf das physikalische Verhalten des Eises, welches sich nicht aus der Tiefe eines Seebeckens wieder in die Höhe zu bewegen vermöge, oder auf geologische Vorkommnisse, beispielsweise den Umstand, daß die ehemaligen Gletscher selbst gegenüber wenig resistenten Seitenwänden eines engen Defilées, wie desjenigen bei St. Maurice, sich machtlos erwiesen hätten, oder das die Höckerfelsen nur an ihrer Stoßseite abgerundet, an ihrer Leeseite dagegen unverändert geblieben seien. Ward von ihnen eine ursächliche Beziehung zwischen Seenreichtum und Gletscherverbreitung anerkannt, so sollten die Gletscher nicht an der Bildung von Seen, sondern nur an ihrer Erhaltung beteiligt gewesen sein. Indem sie die Seebecken mit ihrer Eismasse ausfüllten, konservierten sie dieselben dadurch, daß sie das Eindringen und die Ablagerung von Geröllmassen verhinderten. Auf der anderen Seite verteidigte man mit gleicher Entschiedenheit die Erosionstheorie und schrieb den Ursprung zahlreicher Seen nicht nur, wie der großen Alpenseen, sondern auch die Fjorde Skandinaviens der feilenden und schürfenden Thätigkeit früherer Gletscher zu. Eine klare Darlegung und eingehende Prüfung der Streitfrage mit der theoretischen Begründung,

daß und wie Gletscher tiefe Einsenkungen auszunagen vermögen, hat im vorigen Herbst Penck geliefert. Doch dürften seine theoretischen Erörterungen an Wichtigkeit übertroffen werden von den zahlreichen neuen Thatsachen, welche er zu Gunsten der Erosionstheorie zu Tage gefördert hat. Eine derselben mag hier hervorgehoben werden. Auf Grund sorgfältiger und ausgedehnter Detailuntersuchungen gelangt er zu dem Resultate, daß die größeren Seen Südbayerns nicht bloß räumlich, sondern auch zeitlich mit der dortigen Gletscherbedeckung zusammenfallen. Vor derselben nicht vorhanden und nach derselben fertig, also während derselben, und zwar durch Erosion, entstanden, lassen sie den Schluß auf genetischen Zusammenhang als unanfechtbar erscheinen.

Knüpft sich so in hervorragender Weise das Auftreten von kleineren und größeren, oft dicht zusammengescharten Seen an die teils abdämmende, teils aushöhlende oder aber konservierende Wirksamkeit von Gletschern, so haben letztere auch noch eine fernere topographische Spur dadurch hinterlassen, daß sie manchen Gegenden einen scharf ausgeprägten landschaftlichen Charakter verliehen haben. Es war Desor, welcher auf der Versammlung der schweizerischen naturforschenden Gesellschaft zu Schaffhausen 1873 zuerst das allgemeine Bild solcher Gegenden entwarf, und damit in die Geographie den Begriff der „Moränelandschaft“ einführte. Ausgezeichnet durch die größte Mannigfaltigkeit der Formen bei verhältnismäßig geringen Dimensionen, derart, daß mäßig hohe, bald gerade, bald bogenförmige Hügelzüge und vereinzelte Kuppen und Kegel wirr und ordnungslos mit thalartigen Einsenkungen und zahlreichen Seen und Teichen und Moosen in malerischer Schönheit fortwährend wechseln, unmittelbar am Fuße von Gebirgen gelegen oder auch weiter in die Ebene hinaus geschoben, bilden diese Distrikte einen ausgesprochenen landschaftlichen Typus, für welchen Desor die Brianza südlich vom Comersee, die Nachbargegend des Laco di Varese, das Moränen-Amphitheater von Jvrea, die Umgegend von Amsoldingen nordwestlich vom Thuner See als charakteristische Beispiele hervorhob. Ihre Entstehung verdanken diese anmutigen Flecken Erde der unheimlichen Eiszeit. Geht die Rückzugsbewegung eines Gletschers nicht gleichmäßig vonstatten, sondern unterbrochen von längeren Ruhepausen oder zeitweis erneuerten Vorstößen, so wird der Gletscher, wie oben schon erwähnt, in unregelmäßiger Verteilung aus seiner Endmoräne abwechselnd bald dünne Lager, bald mehr oder minder hohe Anhäufungen und Wälle bilden und so jene frappanten und mannigfaltigen Reliefformen schaffen, welche der Moränenlandschaft ihre eigentümliche Physiognomie verleihen.

Hand in Hand mit der Entwickelung des allgemeinen Teiles der Glazialgeologie, mit der Erkenntnis und Ergründung der verschiedenen zahlreichen Elemente, aus denen sich der Gesamtkomplex der glazialen Gebilde zusammensetzt, ging die Entwickelung des speziellen

es, die Feststellung und Umgränzung der einzelnen, ehemals ver-
erten Gebiete. Wohl mußten bei diesen Untersuchungen mehrfach
ner dadurch unterlaufen, daß beispielsweise Schutthalden mit
enhügeln, durch Schieferung bedingte Spielflächen mit Gletscher-
n, Rundhöckerbildungen infolge Schalenstruktur mit solchen durch
utonnisierung, geologische Orgeln mit Riesentöpfen verwechselt
1; wohl sind selbst bezüglich der unzweideutigsten Zeugen alter
erwirkung, der eisgeritzten Gerölle, Verwechselungen und Irrtümer
usgeschlossen geblieben.

Wenn aber auch infolge dessen die aufgestellte Vermutung oder
ptung einer ehemaligen Eisbedeckung für einzelne Distrikte als
r, für andere als falsch sich erwies, so wurde dadurch doch zunächst
its die Richtigkeit der Glazialtheorie selbst nicht im mindesten in
gestellt. Vielmehr gelangte schon gegen Anfang der fünfziger Jahre
lehre einer ehemaligen enormen Gletscherentfaltung derart allgemein
nerkennung, daß kaum noch ein erwähnenswerter Widerspruch dagegen
n wurde. Denn selbst die abweichende Auffassung, welche Sartorius
Waltershausen in seinem preisgekrönten Werke über die Klimate
egenwart und der Vorzeit[39]) verficht, unterstellt doch im wesent-
nur in lokaler Beschränkung eine Modifikation des Phänomens,
n er speziell das Erratikum im Norden der Schweiz durch die
ne zu erklären sucht, daß nach der Tertiärzeit bei höherem Niveau
pen und anderer Reliefform gewaltige Gletscher die Thäler bis zu
Ausgängen durchzogen, dort einen die Schweizer Ebene bedeckenden
rreicht und über denselben trümmerbeladene Eisschollen entsandt
. Bosizios neuester Versuch aber, nicht allein die sog. Diluvial-
, sondern sogar, etwa nach Art Scheuchzers sämtliche geschichteten
ente aus der Noachischen Flut herzuleiten und das ganze Gebäude
eologie über den Haufen zu werfen, dürfte hier höchstens wegen
ähnheit Erwähnung verdienen, mit welcher dieser Theologe sich über
fachsten Thatsachen in allzugroßem exegetischen Eifer hinwegsetzt[40]).
Von der anderen Seite vermochten die erwähnten Irrtümer, welche
ch einzelner Distrikte obwalteten, auch nicht die Sicherheit in Miß-
zu bringen, mit welcher für zahlreiche Gegenden nicht nur die ehe-
Anwesenheit von Gletschern, sondern auch deren horizontale
hnung und vertikale Mächtigkeit nachgewiesen werden konnte.

Das am meisten und gründlichsten durchforschte Untersuchungsfeld
ach dieser Richtung hin war und blieb naturgemäß das alpine Ver-
rungsgebiet. Der Mühe und Sorgfalt zahlreicher Forscher ist es
en, ein detailliertes Bild seiner ehemaligen Eisentfaltung zu ent-
. Es mußte schon oben, behufs Erläuterung der Grundlagen der
ltheorie, gelegentlich auf die fünf mächtigen Eisströme, den Rhein-,
, Reuß-, Aar- und Rhonegletscher, hingewiesen werden, welche
zahlreiche Nebengletscher genährt und selbst bis zu 1600 Meter
g[41]), die Hauptthäler der Nordalpen anfüllten und aus denselben

heraustretend sich über die schweizerische Ebene vom Höhgau bis zum Genfersee zu einem zusammenhängenden Eismeere ausbreiteten. Speziell gerade für diese Gegend der Schweiz ward der Untersuchungseifer neu belebt und zu allgemeiner Teilnahme gesteigert durch das Interesse, welches Alphonse Favre durch seine Rede auf der Versammlung der schweizerischen naturforschenden Gesellschaft zu Neuenburg 1866 und besonders im folgenden Jahre durch seinen „Apell an die Schweizer" bei Behörden wie bei Privatpersonen für die Konservierung besonders merkwürdiger erratischer Blöcke zu erwecken wußte. Wie sehr dieses Interesse für die Sicherstellung solcher Zeugen früherer Gletscherthätigkeit gegen die Beseitigung durch Menschenhand zugleich zu einem eingehenden Studium nicht bloß der Findlinge, sondern überhaupt des gesamten Erratikum jener Gegenden führte, bekunden die Berichte, welche A. Favre der schweizerischen naturforschenden Gesellschaft auf ihren fünf folgenden Jahresversammlungen erstatten konnte, so wie besonders die von Mühlberg angestellten und geleiteten Untersuchungen über die komplizierten erratischen Verhältnisse im Aargau[43]), und Gutzweilers Nachweis eines früheren Sentisgletschers[44]). Nicht unerwähnt darf ferner bleiben, daß einerseits die südwestliche Fortsetzung dieses nordalpinen Eismeeres über Genf bis nach Lyon hin, gebildet vom linken Zweige des Rhonegletschers und den sich mit ihm vereinigenden Gletschern Savoyens, in neuester Zeit durch Falsan und Chantre Gegenstand genauester Detailforschung und einer umfassenden Monographie geworden ist, während andererseits die östliche Fortsetzung desselben vom Höhgau über Südbayern bis hinter Salzburg, gebildet vom Iller-, Lech-, Isar-, Inn- und Salzach-Gletscher, im vorigen Jahre durch Pencks preisgekröntes, schon mehrfach angeführtes Werk eine Bearbeitung gefunden hat, welche mit der detaillierten Beschreibung eines speziellen Gletschergebietes zugleich eine ebenso ausführliche als lichtvolle Klarstellung der wichtichsten glazialgeologischen Fragen verbindet.

In ihrer Entfaltung wesentlich verschieden von den nordalpinen Gletschern, die infolge der fächerartigen Ausbreitung ihres unteren, dem Thale entrückten Endes sich zu einem zusammenhängenden, in weitem Bogen von Lyon bis über Salzburg hinaus sich erstreckenden Eisgürtel von bedeutender Breite aneinander schoben, waren die diluvialen Gletscher am Südabhange der Alpen, welche, im ganzen etwa fünfzehn an der Zahl[44]), erheblich kleiner und ohne an ihrem unteren Ende mit einander zu verschmelzen, nur bis an den Nordsaum der lombardisch-venetianischen Ebene hinabreichten, hier jedoch Moränen aufgehäuft haben, welche durch ihre Größe, wie die 600 Meter hohe Serra bei Jvrea, in Erstaunen setzen. Von Gasfaldi, Ch. Martins, Omboni, de Mortillet und anderen schon früher mit Eifer erforscht, erregten dieselben im letzten Jahrzehnt, abgesehen von ihrer, schon erwähnten Bedeutung für das Thema der Seebildung, auch noch durch den Umstand ein erhöhtes Interesse, daß in ihrem Bereiche am Südfuße der Alpen an

mehreren Stellen unzweideutige Gletscherablagerungen in Vermengung mit marinen Konchylien gefunden wurden, welche nach Art und Vergesellschaftung unzweifelhaft dem oberen Pliocen angehören. Die Bemühung, diese auffallende Erscheinung zu deuten, führte zu einer lebhaften Kontroverse, indem Stoppani und Desor[45]) die Ansicht aufstellten und entschieden verfochten, daß zur Zeit der Glazialperiode ein Lombardisches Meer existirte, in welches die Gletscher, nach Art der heutigen Grönlands, sich hineinschoben, und daß Pliocenperiode und Eiszeit wenigstens teilweise zusammenfielen, während Gastaldi, Ch. Mayer, A. Favre, Rütimeyer[46]) und andere diese Hypothese ebenso entschieden bestritten.

Weniger scharf und vollständig sind bisher für die Ostalpen die Umrisse der ehemaligen Eisentfaltung gezogen worden. Doch wurden auch hier an manchen Stellen mit Bestimmtheit die Spuren diluvialer Gletscher nachgewiesen, so von Simony am Dachstein im Salzkammergut, von Mojsisovics im Traunthal daselbst, von Morlot[47]) südlich von Wiener Neustadt, von Hans Höfer in Mittelkärnten.

Von den übrigen Gletschergebieten der Vorzeit können die kleineren hier nur eine beiläufige Erwähnung finden. Schon zur Zeit der ersten Begründung der Glazialhypothese durch Charpentier und Agassiz gegen Ende der dreißiger Jahre wurden durch Leblanc und Renoir Gletscherspuren in den Vogesen beobachtet und bereits in den folgenden Jahren ward die ehemalige Ausbreitung der dortigen Gletscher, unter denen besonders derjenige der Mosel hervorragte, durch Hogard und Collomb in fast erschöpfender Weise klargelegt, um dann in neuerer Zeit wieder durch Ch. Grad Gegenstand vieljähriger Studien und einer zusammenfassenden Darstellung zu werden. Ebenfalls schon frühzeitig wurden auch im Innern des Jura selbständige Gletscher konstatiert, obwohl hier ein solcher Nachweis durch den doppelten Umstand erschwert wurde, daß zugleich auch der Rhonegletscher bis an und in den Jura reichte, und außerdem hier das erratische und das anstehende Gestein petrographisch nicht verschieden sind. Die Gebirge der Auvergne dagegen, obwohl um einige hundert Meter höher als die der Vogesen und des Jura, waren vergebens auf die Anwesenheit diluvialer Gletscher untersucht worden, bis dieselbe 1869 von Alphonse Julien in Gemeinschaft mit Laval[48]) und fast gleichzeitig von Collomb nachgewiesen wurde. Bald darauf entdeckte Collenot und Jules Martin am Morvan Gletscherspuren, und auch für das Plateau von Langres wie für die Ardennen wurde eine ehemalige Vergletscherung wahrscheinlich gemacht. Im Anschluß hieran suchte neuerdings Rothpletz in einer ausführlichen Arbeit die Bildung des mittleren Pariser Diluviums durch die Annahme zu erklären, daß die von den genannten Höhen hinabsteigenden Gletscher sich an ihrem unteren Ende vereinigt und das nordfranzösische Flachland mit einer zusammenhängenden Eisdecke überzogen hätten. Während die

genannten Gebirge in der Jetztzeit keine Gletscher mehr beherbergen, finden sich solche, wenn auch nur in geringer Entwicklung, auf den höchsten Gipfeln der Pyrenäen. Es lag deshalb nahe, auch für dieses Gebirge, trotz seiner südlicheren Lage, eine ausgedehnte Vergletscherung vorauszusetzen. In der That schrieb schon Charpentier in seinem Essai (S. 209) den dortigen, ihm durch seine früheren Untersuchungen wohlbekannten, erratischen Bildungen einen glazialen Ursprung zu, und 1867 wurde von Ch. Martins und Collomb[49]) zunächst die Ausbreitung des bedeutendsten von den dortigen ehemaligen Gletschern genau festgestellt, desjenigen, welcher 53 Kilometer lang das Thal von Argelès durchzog und auf die Ebene übertretend die Umgegend von Lourdes mit den zahlreichen Blöcken bizarrester Form und Stellung überschüttete. In hohem Grade auffallend dagegen war es gewesen, daß Schimper und Collomb selbst im äußersten Süden Spaniens, in der Sierra Nevada, einige Zeit vorher Gletscherspuren aufgefunden hatten. Auch mag nicht unerwähnt bleiben, daß vor ungefähr einem Jahre Cabral im Duerobecken Spuren einer Vereisung entdeckte, welche bis ans Meer hinabreichte.

Kehren wir zum Rheine zurück, um von hier aus nunmehr auch nach östlicher Richtung hin die ehemaligen Gletschergebiete flüchtig zu durchwandern, so begegnet uns ein solches zunächst im Schwarzwald. Die Anwesenheit alter Gletscher daselbst, Anfang der vierziger Jahre zunächst von Agassiz behauptet, bald darauf von Fromherz entschieden bestritten, wurde später von Ramsay für die Umgegend des Großen Feldbergs und in neuerer Zeit von Gilliéron[50]) speziell für das obere Wiesenthal außer Zweifel gestellt. Eine zusammenfassende Darstellung aller bis jetzt dort aufgefundenen Glazialerscheinungen hat im vorigen Herbst Partsch[51]) geliefert und für den südlichen Schwarzwald den gegenwärtigen Stand der bezüglichen Kenntnis durch eine Kartenskizze veranschaulicht. Ebenfalls im vorigen Jahre hat auch Fraas[52]) dieses Gletschergebiet erläutert, spezieller jedoch das benachbarte der Schwäbischen Alp geschildert. Die Hochfläche derselben war nach ihm mit einer Eisdecke überlagert, von welcher aus einzelne Gletscher in die Niederung rückten und durch ihre felszermalmende Wirksamkeit den Grund legten zu der gerühmten Fruchtbarkeit dieser unerschöpflichen Kornkammer des Landes. Von zweifelhafter Natur jedoch und vorläufig noch einer weiteren Stütze bedürftig scheinen diejenigen Indizien zu sein, aus denen K. Koch für den Taunus, Zimmermann und neuerdings mit mehr Wahrscheinlichkeit Kaiser für den Harz, Habenicht und Leipold für den Thüringer Wald, Partsch lediglich auf Grund der dortigen Seeenverhältnisse für den Böhmer Wald die ehemalige Anwesenheit von Gletschern folgern mochten, wie auch die angeblichen Gletscherspuren des Erzgebirges noch der nötigen Begründung entbehren. Dagegen gelang es neuerlich Partsch, im Riesengebirge frühere Gletscher, insbesondere den glazialen Ursprung der Ablagerung in den beiden sog. Schneegruben mit Sicherheit nachzuweisen. Zugleich hat derselbe die bis dahin vagen und zum Teil übertriebenen

Vorstellungen einer ehemaligen Übergletscherung der Karpaten dahin zu präzisieren vermocht, daß unter den verschiedenen Gliedern dieses Gebirgssystemes nur die Hohe Tatra eine bis ins Vorland hinabreichende Vergletscherung besessen hat, während in allen anderen Teilen nur in der Nachbarschaft der bedeutendsten Erhebungen Gletscher von bescheidenen Dimensionen sich entwickelten.

Folgen wir dann, bevor wir uns zu den beiden enormen Vereisungsgebieten des Nordens wenden, den Glazialisten zunächst in außereuropäische Gegenden, um uns die weite Verbreitung der Spuren früherer Gletscher vor Augen zu führen, ohne uns jedoch verleiten zu lassen, daraus auf eine Gleichzeitigkeit ihrer Entfaltung für die verschiedenen Erdteile zu schließen, so finden wir zuvörderst für diejenigen großen Gebirgssysteme, von welchen auch in der Jetztzeit gewaltige Gletscher herabhangen, für den Kaukasus, den Himalaya, die südlichsten Ausläufer der Cordilleren und die Alpen Süd-Neuseelands, eine ehemals ungleich größere Entfaltung derselben mit Sicherheit nachgewiesen. Nur mit Vorsicht dagegen sind diejenigen Angaben aufzunehmen, welche über Gletscherspuren in gegenwärtig eisfreien Distrikten gemacht werden. Wenn Hookers Behauptung einer ehemaligen Anwesenheit von Gletschern in Marokko durch Fritsch und Rein entkräftet wurde, wenn selbst ein so gewiegter Kenner, wie Agassiz, sich in voller Täuschung befand, als er für das Amazonasthal aus den dortigen Erscheinungen auf die Wirkung eines alten Riesengletschers schloß, so wäre es wohl voreilig, etwa auf die Vermutung Lombardinis, in Centralafrika Gletscherspuren aufgefunden zu haben, besonderes Gewicht zu legen. Wahrscheinlich dagegen ist es geworden, daß in Südafrika die Gebirgsgegend von Natal ehemals vergletschert gewesen, und wohl als eine durch Hooker und später durch Fraas hinlänglich konstatierte Thatsache darf es gelten, daß die letzten ehrwürdigen Reste der Cedern des Libanon auf alten Moränen stehen.

Eine wesentliche Umwandlung vollzieht sich gegenwärtig mit der Vorstellung, welche bezüglich des Nordens von Europa, wie früher erwähnt, seit etwa Mitte dieses Jahrhunderts bei Geologen wie Laien zu allgemeiner Herrschaft gelangt war. Fast einmütig, wenn auch abweichend in Bezug auf Einzelheiten, nahm man mit Lyell, Darwin, Murchison und anderen an, daß in der Diluvialepoche die Umrisse Europas von den heutigen in hohem Grade verschieden waren, indem insbesondere ein weites Meer von der Nordsee aus über Holland, Norddeutschland, Polen und Nordrußland bis ins Polarmeer sich erstreckte. Als Insel ragte aus diesem Meere Skandinavien hervor, in seinen Thälern durchzogen von gewaltigen Gletschern, welche mit Schutt und Blöcken beladen, ihre Zungen bis in jenes Meer hineinschoben und über dasselbe zahllose, nach und nach sich abtrennende Eisfelder und Eisberge entsandten. Indem letztere durch Wind und Meeresströmung weiter getrieben wurden, bis sie schmolzen oder strandeten, verfrachteten sie über den Meeresgrund die

unzähligen Blöcke, welche eine so allgemeine und auffallende Erscheinung der skandinavisch-sarmatisch-germanischen Ebene bilden und welche sich nicht nur in einer großen Anzahl von Fällen, sei es durch ihre petrographische Beschaffenheit, sei es durch die eingeschlossenen Versteinerungen, mit Sicherheit als Fremdlinge aus ganz bestimmten Lokalitäten der skandinavischen und nordischen Gebirge erweisen lassen, sondern auch in ihrer bezirksweisen Verteilung mit ihren nordischen Heimatstätten korrespondieren.

Gegenüber dieser sog. Drifttheorie bricht sich in letzter Zeit die Vergletscherungstheorie[54]) immer mehr Bahn, nach welcher jene erratischen Bildungen nicht das Werk schwimmender Eismassen, sondern eines großartig ausgedehnten Inlandeises sein sollen, welches nicht bloß ganz Skandinavien bedeckte, sondern auch von dort aus radial weiter vordringend die Nord- und Ostsee occupierte und unter Bildung einer mächtigen Grundmoräne über England und die genannte nordeuropäische Ebene bis an das deutsche Mittelgebirge sich hinschob.

Die erste Aufstellung und Begründung dieser Theorie ging von skandinavischen und dänischen Geologen aus. Auffallender Weise huldigte man im Norden fast allgemein noch bis gegen Anfang der sechsziger Jahre der Fluttheorie, wie sie 1836 von Selfström für den Norden namentlich auf Grund seiner Untersuchungen über die Schrammen auf den Felsbänken Skandinaviens aufgestellt worden war. Selbst Horbye sprach sich 1857 in seiner Programmabhandlung über die Erosions-Erscheinungen Norwegens[57]) nur mit Reserve zu Gunsten der Glazialhypothese aus. Den Anstoß zu einem vollständigen Umschwung in der Auffassungsweise der dortigen Forscher gaben die ebenfalls 1857 veröffentlichten Untersuchungen Rinks über die enorme gegenwärtige Gletscherentfaltung Grönlands, welche in neuerer Zeit von Nordenskjöld und Helland bestätigt, zum erstenmale das thatsächliche Vorkommen einer allgemeinen und zusammenhängenden, nicht auf Thäler beschränkten Vereisung eines weit ausgedehnten Landgebietes kennen lehrten. Kjerulf aus Christiania war der Erste, welcher 1860 den Gedanken einer Analogie zwischen jenem Vorkommen und dem ehemaligen Zustande Skandinaviens aussprach[56]). Durch die sorgfältigen von ihm wie von anderen nordischen Forschern gemachten Beobachtungen, insbesondere aber durch die von Torell aus Stockholm auf fortwährenden Exkursionen und Reisen mit unermüdlichem Eifer betriebenen Untersuchungen[57]) ward zunächst außer Zweifel gestellt, daß ganz Skandinavien und Finnland vormals mit einem mächtigen Inlandeise bedeckt gewesen ist. Doch die weiter gehende Hypothese derselben, daß jene Eisdecke auch über das norddeutsche und nordrussische Flachland sich erstreckt habe, fand anfangs bei den deutschen Geologen wenig Beachtung und noch weniger Zustimmung. Unterbreitet wurde sie denselben zunächst von Johnstrup aus Kopenhagen, der 1874 in der Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft eine Abhandlung veröffentlichte, in welcher er speziell für Möen und Rügen aus seinen dortigen Untersuchungen die ehemalige Anwesenheit

einer Gletscherdecke deduzierte. Besonders anregend wirkte im folgenden Jahre Torell durch seinen Vortrag in der Novembersitzung der genannten Gesellschaft, worin er unter anderm namentlich auch auf die kurz vorher von ihm aufgefundenen, bereits von Sefström erwähnten Schrammen auf der Oberfläche des Rüdersdorfer Muschelkalkes als Zeugnis ehemaliger Vergletscherung Norddeutschlands hinwies, nicht ohne bei von Dücker, von Dechen, und Beyrich auf entschiedenen Widerspruch zu stoßen[58]. Eine längere Diskussion rief die Kontroverse dann im Herbst 1879 auf der Naturforscher-Versammlung zu Baden-Baden hervor, auf welcher insbesondere auch auf die im Mai desselben Jahres von Dames bemerkten und auf dessen Veranlassung von Noetling[59]) sorgfältig untersuchten und ausführlich beschriebenen Riesenkessel in dem eben erwähnten Muschelkalk zu Gunsten der Vergletscherungstheorie hingewiesen wurde. Im August des folgenden Jahres ward diese Lehre dann wieder von Torell auf der Versammlung der deutschen Geologen zu Berlin, von welcher er zum Präsidenten erwählt war, eingehend begründet, und drei Exkursionen, nach Rüdersdorf, Rixdorf und Oderberg, wurden von den Geologen zu dem Zwecke unternommen, um Gletscherspuren an Ort und an Stelle zu studieren.

Der Lebhaftigkeit, mit welcher die angeregte Frage auf den Versammlungen wie in schriftlichen Abhandlungen umstritten ward, entsprach der Eifer, mit welchem zahlreiche Forscher die Untersuchung der Diluvialgebilde betrieben. Aus allen Teilen des Flachlandes häuften sich Beobachtungen mannigfaltigster Vorkommnisse, welche ihre naturgemäße Erklärung in der Annahme einer ehemaligen Übergletscherung finden. Die Entdeckung der Riesenkessel im Muschelkalk der Rüdersdorfer Steinbrüche unweit Berlin ist so eben schon berührt worden. Berendt hat seitdem die allgemeine Verbreitung solcher Löcher über ganz Norddeutschland dargethan und ausnehmend schön entwickelte Formen bei Bromberg im Gips, bei Uelzen in Mergel aufgefunden. Gruner entdeckte dichtgescharte Riesenkessel in Oberschlesien, Geinitz glaubte als solche gewisse Vertiefungen in Mecklenburg deuten zu müssen. Gleicher Weise wurden außer den schon erwähnten Schliffen und Schrammen auf dem Rüdersdorfer Kalk auch noch anderweitig solche Zeugen stattgehabter Gletscherreibung beobachtet; namentlich erfuhren die auf den Porphyrkuppen bei Leipzig aufgefundenen Friktionserscheinungen durch deutsche und nordische Forscher eine wiederholte und sorgfältige Untersuchung. Vornehmlich aber galt es, mit Hülfe der Vergletscherungstheorie die durch die mannigfaltige Wechsellagerung verschiedenartiger Gebilde so äußerst komplizierte Zusammensetzung der Diluvialmassen aufzuklären, speziell den Geschiebelehm und den Krosssteingrus als Moräne zu erweisen. Es lag dann nahe, die mannigfachen Stauchungen und Zertrümmerungen des Untergrundes durch Gletscherschub zu erklären, wie es namentlich durch Credner in eingehender Weise geschehen ist. Selbst über das Fluß-

system Norddeuschlands hat Berendt mit Hülfe der Vergletscherungstheorie neuen Aufschluß zu geben versucht.

Auffallend schnell ging auf diese Weise das Mistrauen, welches anfangs der neuen Lehre entgegen gebracht wurde, bei vielen in Zustimmung über; trotz der nicht geringen Schwierigkeit, die physikalische Möglichkeit der Vorwärtsbewegung so wenig geneigter Eisströme zu begreifen, erwarb die Vergletscherungstheorie sich in kurzer Zeit eine große Anzahl von Anhängern und eifrigen Verteidigern.

Ähnlich den glazialen Erscheinungen Nordeuropas sind diejenigen Nordamerikas, nur zeigen sie einen weit großartigeren Maßstab. Auch unter den dortigen Geologen gewinnt gegenüber der früheren Drifttheorie die neue Auffassung immer mehr an Boden, daß eine gewaltige, über das ganze Areal vom arktischen Meere bis etwa in die Breite von Baltimore sich hinziehende Eisdecke von mehr als 2000 Meter Mächtigkeit das Agens gewesen, welches die in dortiger Gegend ebenso ausgeprägten als häufigen Abrundungen, Schliffe, Schrammen und selbst fußtiefen Furchen auf dem felsigen, wie die mannigfaltigen Schichtenstörungen in dem losen Untergrunde verursacht hat. Um über die enorme von den Glazialisten für die dortige Region unterstellte Eisentfaltung eine bestimmtere Vorstellung zu gewinnen, bedarf es der Vergleichung. Während die ganze gegenwärtig in den Alpen von Firn oder Eis bedeckte Fläche nur wenige Quadratmeilen beträgt, umfaßte in der Glazialperiode das alpine vereiste Gebiet etwa 1500, das nordeuropäische über 100,000, das nordamerikanische gegen 360,000 Quadratmeilen[61]).

Bis dahin suchten wir zu zeigen, wie es im Laufe anhaltender Untersuchungen gelungen ist, einen höchst umfangreichen und mannigfaltigen Komplex von Erscheinungen, und zwar der Diluvialformation, als das Werk früherer Gletscher- und Eisentfaltung zu erweisen. Um die Darstellung zu vereinfachen, ist mit Absicht die Frage unberührt gelassen, ob in allen diesen glazialen Bildungen jener Formation das Werk einer und derselben einmaligen oder aber vielleicht einer mehrmaligen Kälteperiode vorliegt, so wie die hiermit eng verknüpfte weitere Frage, ob vielleicht auch die älteren Formationen Merkmale hereingebrochener Kältezeiten an sich tragen. Wie diese Frage nach der Wiederholung der Eiszeit in ihrer allgemeinen Fassung für zahlreiche Forscher ihre Bejahung auf rein theoretischem Wege durch die Vorstellung findet, welche dieselben bezüglich der Ursache der Eiszeit hegen, wird in dem späteren Teile dieser Abhandlung zur Sprache kommen. Hier handelt es sich um den Hinweis auf die Beobachtungen geologischer Thatsachen, in welchen diese ihre Stütze finden.

Bleiben wir zunächst bei den glazialen Erscheinungen der Diluvialformation stehen, so haben die Untersuchungen zahlreiche Vorkommnisse aufgedeckt, welche gegenwärtig für zahlreiche Geologen als vollkräftige

Beweise einer mehrmaligen Glazialzeit während der Diluvialperiode gelten. Venetz war wohl der Erste, welcher einen solchen Beweis in gewissen glazialen Erscheinungen gefunden zu haben glaubte. Doch war seine Argumentation, wie er sie in der nach seinem Tode erschienenen, fragmentarisch gebliebenen Abhandlung aufgestellt hat, nicht stichhaltig, da er von falschen Prämissen ausging. Es kann eben, im Widerspruch mit seinen Voraussetzungen, eine und dieselbe Vergletscherung Felsen zugleich polieren und mit einer Moränenschicht überdecken, wie sie auch infolge von Oscillationen in weiteren Entfernungen von einander Moränenwälle aufzuhäufen vermag.

Die ersten Beobachtungen von Belang für unsere These machte Morlot an den Ufern des Genfersees. Er hatte daselbst 1853 am Wildbach bei Clarens eine Stelle aufgefunden, wo eine mächtige Moränenschicht unterhalb alter Anschwemmungen liegt. In Verbindung mit der Thatsache des allgemeinen Vorkommens von Moränenablagerung oberhalb solcher Anschwemmungen hatte er hieraus den Schluß gezogen, daß es zwei Gletscherepochen gegeben habe, die eine vor, die andere nach der Diluvialzeit. Doch hatte diese Schlußfolgerung entschiedene Zurückweisung gefunden und Morlot selbst räumte ein, daß jenes Vorkommen auch durch die Annahme einer einzigen Gletscherzeit zwischen zwei Diluvialzeiten ihre Erklärung finde. Er richtete deshalb sein Augenmerk darauf, Stellen aufzufinden, in welchen bei direkter Überlagerung in ein und demselben Durchschnitt zugleich unterhalb wie oberhalb einer Schotterablagerung Gletscherschutt vorhanden wäre. Eine solche Stelle entdeckte er im Herbst 1857 im Dransethale bei Thonon, wo zwei Moränenschichten eine 50 Meter mächtige Anschwemmung zwischen sich einschließen[62]. Zwar wurde, zumal in Anbetracht des Umstandes, daß man sonst nirgendwo ein derartiges Profil angetroffen habe, gegen die Richtigkeit jener Beobachtung vielfach Bedenken laut oder man glaubte eine Erklärung des Vorkommens in der Annahme stattgehabter lokaler Rutschungen zu finden. Doch wiederholte Untersuchungen jener Gegend, unter anderm in neuester Zeit durch Rothpletz, haben die Beobachtung und Aufstellung Morlots vollauf bestätigt. Nur ist hierbei der Umstand zu beachten, daß die Erklärung jenes Vorkommens nicht unbedingt zwei vollständig von einander getrennte Eiszeiten voraussetzt, sondern auch die Annahme allerdings bedeutender Oscillationen während derselben Gletscherentfaltung, oder wie Mojsisovics[63] sich ausdrückt, verschiedener Phasen einer und derselben Eiszeit Genüge leistet.

Ein zweites, vielfach erörtertes Vorkommnis von hoher Wichtigkeit für die strittige Frage ist in den Lagerungsverhältnissen der nordschweizerischen Schieferkohle gegeben. Oswald Heer, welcher 1855 in einem öffentlichen Vortrage die Flora und Fauna der gegenwärtig größtenteils erschöpften Flöze dieser Braunkohlenart bei Dürnten und Utznach östlich vom Züricher See näher beschrieb, verwarf damals noch die Annahme einer zweimaligen Eiszeit. Es war nur bekannt, daß diese Kohle von Gletscher-

gebilden überlagert ist, und noch nicht konstatiert, daß auch unterhalb derselben, zwischen ihr und der Molasse, eine glaziale Schicht sich findet. Erst als Messikommer unterhalb des benachbarten Flözes bei Wetzicon gekritzte Kalksteine und Blöcke von Pontaiglasgranit als Zeugen früherer Gletscheranwesenheit auffand, wurde Heer zu jener veränderten Auffassung geführt, welche er in seiner Eröffnungsrede auf der Versammlung der schweizerischen naturforschenden Gesellschaft zu Zürich 1864 vortrug. Danach hätten schon vor der Schieferkohlenbildung sich die Gletscher über jene Gegend verbreitet, später hätten dieselben sich zurückgezogen und bei einem dem gegenwärtigen ähnlichen, nur vielleicht etwas kälteren, einige Tausend Jahre anhaltenden Klima habe sich das Land mit einer Vegetation bekleidet, welche Tannen und Föhren, Lärchen und Eiben, Birken und Eichen, Ahorn und Haselsträucher aufwies und durch Torfbildung das Material zu der Schieferkohle erzeugte, bis dann wieder aufs neue eine Gletscherzeit hereinbrach und apine Gesteine auch über die Schieferkohle ablagerte[64]). Jenes der Beweisführung zu Grunde liegende Vorkommen von glazialen Bildungen, unterhalb der Schieferkohle von Wetzicon wie es Messikommer behauptet hatte, wurde später mehrfach bestätigt gefunden, wie denn auch dieselbe Erscheinung für die Schieferkohle von Utznach beobachtet worden ist. In gleicher Weise wurde auch bereits 1861 von Deicke für die Schieferkohlen von Mörschweiler zwischen St. Gallen und Rorschach als Liegendes wie als Hängendes eine Moränenschicht angegeben und diese Behauptung im Sommer 1878 durch Gutzwiller bewahrheitet. Es ist deshalb wohl allgemein als hinlänglich constatierte Thatsache anerkannt, daß die nordschweizerischen Schieferkohlen zwischen zwei Glazialschichten eingeschlossen liegen. Doch zahlreiche Geologen bestreiten die Berechtigung, daraus auf eine zweimalige Eiszeit zu schließen. Auch hier, wie bezüglich des Profils im Dransethal, genügt nach ihnen zur Erklärung die Annahme stattgehabter Oscillationen der Gletscher während einer und derselben Eiszeit, zumal die nachgewiesene Flora der Schieferkohle auch in unmittelbarer Nähe der Gletscher hätte aufkommen können. Doch erblickte vor kurzem Penck in der geographischen Lage jener Kohlenflöze ein weiteres Moment, welches zu Gunsten der Annahme zweier getrennten Eiszeiten ausschlaggebend ins Gewicht falle. Eine so enorme Ausdehnung der Gletscher, daß sie in die weitentlegenden Gegenden von Zürich und von Mörschweil vordrangen, setzt nach ihm ein Klima voraus, welches zu strenge war, als daß in unmittelbarer Nachbarschaft dieser Eisdecke jene Waldvegetation hätte bestehen können. Damit dieselbe aufkomme, war eine milde Interglazialzeit erforderlich, welche die Gletscher wieder in die höchsten Thäler der Alpen zurückdrängte.

Eine Bestätigung dieser Auffassung liefern die Algäuer Schieferkohlen, speziell die von Sonthoven im Illerthal. Von Gümbel zuerst aufgefunden und erwähnt, sind sie im vorigen Jahre durch Penck Gegenstand eingehender Untersuchungen geworden. Er kommt zu dem Resultate, daß durch das Auftreten von Moränen im Liegenden und Hangenden

dieser Schieferkohlen zwei Vergletscherungen jener Gegend bewiesen werden, beide von einander getrennt durch einen langen Zeitraum, während dessen eine mächtige Schotterablagerung, eine Bildung diluvialer Kohlen und eine höchst beträchtliche Vertiefung des Thales stattfanden. Einen vollgültigen Beweis für eine mehrmalige Eiszeit glaubt Penck in den Beobachtungen gefunden zu haben, welche er im Gebiete des ehemaligen Inngletschers machte. Bei Innsbruck fand er unterhalb wie oberhalb der sog. Höttinger Breccie unzweifelhafte Moränenablagerung. Hiermit sind selbstredend zwei Vergletscherungen dieser Gegend ausgesprochen; daß dieselben durch einen Zeitraum langer Dauer von einander getrennt waren, lehren mehrere Umstände, welche die Breccie aufweist; und daß hier nicht eine lokale Oscillation von geringer Länge stattgefunden, sondern die erste wie die zweite Vergletscherung eine ganz bedeutende Ausdehnung besessen habe, dafür bringt Penck mehrere triftige Gründe bei. Zweifelhaft läßt er es sein, ob nicht auch noch eine dritte zwischen den beiden liegende Vergletscherung des Innthales stattgehabt hätte, doch findet er dieselbe wahrscheinlich. Mit besseren Gründen glaubte er eine solche dreimalige Vergletscherung für Oberbayern aus der Gliederung der dortigen Geröllformation speziell aus den gegenseitigen Lagerungsverhältnissen der Glazialschotter und der diluvialen Nagelfluh, so wie aus ihren Beziehungen zu der inneren und äußeren Moränenzone herleiten zu können. Auch in älteren Formationen glauben zahlreiche Forscher Spuren früherer Gletscher gefunden zu haben. Doch sind solche Vorkommnisse im allgemeinen nur vereinzelter und mehrfach zweifelhafter Natur. Diese Seltenheit aufgefundener Glazialgebilde in älteren Schichten hat man auffällig gefunden, zumal es wahrscheinlich geworden war, daß die Ursache der Eiszeit in gewissen astronomischen Verhältnissen liege, welche in regelmäßigen Perioden sich wiederholen. Man hat Gründe angegeben, aus denen eine solche Seltenheit sich erkläre. Meines Wissens hat man noch nicht auf einen Umstand Gewicht gelegt, der vielleicht eine genügende Erklärung abgeben dürfte. Man hatte sich von der Größe der Temperaturerniedrigung, welche jene enorme Eisentfaltung im Gefolge hatte, anfangs wohl allgemein eine ziemlich übertriebene Vorstellung gemacht. Drei Forscher Oswald Heer, Ch. Martins[65]) und Hans Höfer[66]) und alle drei auf ganz verschiedenem Wege, gelangten jedoch durch ihre Beobachtungen und Folgerungen zu dem übereinstimmenden Resultate, daß eine Temperaturerniedrigung von etwa 4 Grad für die Entfaltung der alpinen Gletscher in ihrer diluvialen Ausdehnung genügend sei. Liegt nun aber die Ursache der Eiszeit in den angedeuteten astronomischen Verhältnissen, so wird man wohl nicht fehl gehen, wenn man annimmt, daß auch für die ältere Periode mit dem Hereinbrechen einer Eiszeit nur eine Erniederung der Temperatur um etwa dieselbe Anzahl von Graden verknüpft war. Nehmen wir also beispielsweise für eine Gegend eine Periode an, deren mittlere Temperatur diejenige der Jetztzeit um etwa 4 Grad übertraf, so würde für diese Gegend die damalige

Glazialzeit nur einer der heutigen annähernd gleiche Eisentfaltung zur Folge gehabt haben, speziell hätte damals etwa Deutschland trotz der Eiszeit eben so wenig Gletscher gehabt wie gegenwärtig. Fehlen dann aber auch je nach den Umständen vollständig die Spuren von Eiswirkung, so wird doch für die betreffende Periode und für dieselbe Gegend die Einwirkung der stattgehabten Temperaturerniedrigung trotzdem möglicher Weise sich constatieren lassen und zwar durch den Nachweis der Veränderung, welche sie in der Flora und Fauna der damaligen Periode und der dortigen Gegend hervorgerufen haben.

Anmerkungen.

1. L. v. Buch, Über die Ursachen der Verbreitung großer Alpengeschiebe. Abh. d. Berl. Akad. Phys. Klasse 1811 S. 161 ff.
2. H. C. Escher, Beiträge zur Naturgeschichte der freiliegenden Felsblöcke u. s. w. Neue Alpina von Steinmüller Bd. 1.
3. Nach Forbes, Reisen in die Savoyer Alpen, deutsch von Leonhard. Stuttg. 1845 S. 40.
4. Zuerst durch Berendt, Gletschertheorie oder Drifttheorie in Norddeutschland, Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft Jahrg. 1879, wieder der Vergessenheit entzogen.
5. Venetz' Abhandlung erschien mit einigen nachträglichen Zusätzen in den Denkschriften der schweizerischen naturforschenden Gesellschaft als: Mémoire sur les variations des températures dans les Alpes de la Suisse 1833.
6. Ähnliche Vorstellungen hegten auch einige Alpenbewohner; besondere Erwähnung verdient Perraudin, der kühne Gemsenjäger und intelligente Gemeindevorsteher im Bagnethale, welcher seine Ansicht nicht bloß, wie allgemein hervorgehoben wird, gegen J. v. Charpentier, sondern auch gegen Venetz (Mémoire p. 24) geäußert hatte.
7. Actes de la Société Helvétique des sciences naturelles, quinzième réunion annuelle p. 31.
8. Verhandlungen der schweizerischen naturforschenden Gesellschaft zu Luzern 1834, S. 23. Das Memoire erschien in den Annales des mines 1835, in der Bibliothèque universelle de Genève 1836 und, von Fröbel ins Deutsche übersetzt, in den Mitteilungen aus dem Gebiete der theoretischen Erdkunde von Fröbel und Heer 1835 S. 482.
9. Actes de la Soc. Helv. des sc. nat. 1837.
10. Agassiz, Étude sur les glaciers, Neuchâtel 1840; erschien, von K. Vogt übersetzt, in deutscher Ausgabe als: Untersuchungen über die Gletscher. Solothurn 1841.
11. Venetz, Mémoire sur l'extension des glaciers anciens in: Neue Denkschriften der schweiz. naturf. Ges. 1861.
12. J. de Charpentier, Essai sur les glaciers et sur le terrain erratique du bassin du Rhône. Lausanne 1841.
13. J. de Charpentier, Sur l'application de l'hypothèse de M. Venetz aux phénomènes erratiques du Nord in Bibl. univers. de Genève 1842.
14. Penck, (Die Vergletscherung der deutschen Alpen, Leipzig 1882), dem ich vielfache Belehrung verdanke und dem ich hier in Bezug auf Agassiz gefolgt bin, ist an dieser Stelle (S. 6) in Beziehung auf Charpentier im Irrtum.
15. Verhandlungen der schweiz. naturf. Ges. zu Zürich 1841 S. 71 und in zahlreichen Abhandlungen.
16. Verh. der schweiz. naturf. Ges. zu Winterthur 1846 S. 46; Oswald Heer und Escher von der Linth, Zwei geologische Vorträge, gehalten 1852 Zürich.
17. Heer, Arnold Escher von der Linth, Lebensbild eines Naturforschers. Zürich 1873.
18. Collomb, Preuves de l'existence d'anciens glaciers dans les vallées des Vosges. Paris 1847 p. 23.
19. Lyell, Alter des Menschengeschlechts, mit Bemerkungen und Zusätzen von L. Büchner. Leipzig 1874.

20. Hugi, Naturhistorische Alpenreise. Solothurn 1830 S. 370.
21. Hugi, Das Wesen der Gletscher. Stuttgart und Tübingen 1842 S. 79. Agassiz bezügliche, vielfach citierte Zahlangabe beruht auf einem Irrtum.
22. Agassiz, Nouvelles Etudes et expériences sur les glaciers actuels. Paris 1847.
23. Verh. der schweiz. naturf. Ges. zu Brieg 1880 S. 27 und 72.
24. Forbes, Reise in die Savoyer Alpen, deutsch von Leonhard. Stuttg. 1845.
25. Verh. der schweiz. naturf. Ges. zu Altdorf 1842 S. 26.
26. Tyndall, das Wasser in seinen Formen. Leipzig 1873.
27. Verh. der schweiz. naturf. Ges. zu Altdorf 1842 S. 92.
28. Pfaff, Über die Bewegung des Firnes und der Gletscher. Abh. der bayer. Ak. 1876.
29. Verh. der schweiz. naturf. Ges. 1842 S. 107.
30. Ch. Martins et B. Gastaldi, Sur les terrains superficiels de la vallée du Pô aux environs de Turin. Bull. de la Soc. géol. de France. 2e série t. VII.
31. Helmersen, Riesenkessel in Finnland. Mém. de l'Acad. de St.-Pétersbourg XI No. 12 1867.
32. Desor, Agassiz' Alpenreisen, deutsch von K. Vogt. Frankf. 1844 S. 79, und Agassiz Untersuchungen S. 237.
33. Rothpletz, Das Diluvium um Paris. Neue Denkschriften der schweiz. Ges. für die ges. Naturwiss. 1881.
34. Verh. der schweiz. naturf. Ges. zu Zürich 1841 S. 69.
35. Rütimeyer, Thal- und Seebildung. Basel 1869.
36. Gastaldi et Mortillet, Sur la théorie de l'affouillement glaciaire. Milan 1863.
37. Whymper, Berg- und Gletscherfahrten. Braunschweig 1872.
38. Verh. der schweiz. naturf. Ges. zu Schaffhausen 1873 S. 121.
39. Sartorius von Waltershausen, Untersuchungen über die Klimate der Gegenwart und der Vorwelt, in Natuurkundige Verhandelingen. Haarlem 1865.
40. Bosizio, Die Geologie und die Sündflut. Mainz 1877.
41. Verh. der schweiz. naturf. Ges. zu Basel 1876 S. 138.
42. Mühlberg, Über die erratischen Bildungen im Aargau. Aarau 1869.
43. Gutzwiller, Das Verbreitungsgebiet des Sentisgletschers zur Eiszeit. Jahresber. der St. Gallener naturw. Ges. pro 1871/72.
44. Mojsisovics Mojsvar, Die alten Gletscher der Südalpen. Wien 1863.
45. Verh. der schweiz. naturf. Ges. zu Chur 1874 und Desor, le paysage morainique, Paris 1875, sowie Desor, Controverse glaciaire in Archives des Sciences phys. et nat. t. LVII 1876.
46. Rütimeyer, Über Pliocen und Eisperiode auf beiden Seiten der Alpen. Basel 1876.
47. Morlot, Über erratisches Diluvium bei Pitten. Naturw. Abhandlungen IV 2. Abt. 1849.
48. Julien, Des phénomènes glaciaires dans le plateau central de la France. Paris 1869.
49. Ch. Martins und Ed. Collomb, Essai sur l'ancien glacier de la vallée d'Argelès. Montpellier 1868.
50. Verh. der schweiz. naturf. Ges. zu Chur 1874 S. 62.
51. Partsch, Die Gletscher der Vorzeit in den Karpaten und Mittelgebirgen Deutschlands. Breslau 1882.
52. Fraas, Geognostische Beschreibung von Würtemberg, Baden und Hohenzollern. Stuttgart 1882.
53. Kinkelin, Über die Eiszeit. Lindau 1876.
54. Es ist störend, daß die Bezeichnung „Gletschertheorie" in einem dreifachen Sinne gebraucht wird: als Lehre vom Wesen der Gletscher, als Lehre von der ehemaligen Gletscher- und Eisentfaltung und als Lehre von der früheren Vergletscherung bestimmter Gegenden. In der vorliegenden Abhandlung ist für die erste Bedeutung „Gletschertheorie", für die zweite „Glazialtheorie" und für die dritte „Vergletscherungstheorie" festgehalten worden.
55. Horbye, Sur les phénomènes d'érosion en Norvège. Christiania 1857.

56. Sars und Kjerulf, over den postpliocene eller glaciale formation i en del af det sydlige Norge, Christiania 1860, in dem vorausgeschickten französischen Resümé.
57. Quaglio, Die erratischen Blöcke und die Eiszeit. Wiesbaden 1881.
58. Dücker, Die Eiszeit in Europa. Gletscher- oder Driftttheorie. Minden 1881.
59. Nötling, Über das Vorkommen von Riesenkesseln im Muschelkalk von Rüdersdorf. Zeitschrift der Deutschen geol. Gesellschaft, Jahrg. 1879.
60. Berendt, Gletscher- oder Driftttheorie in Norddeutschland, in der Zeitschrift der Deutschen geol. Ges. 1879.
61. Die beiden letzten Zahlen sind entnommen aus Penck, Schwankungen des Meeresspiegels. Jahrb. der geograph. Ges. zu München Bd. VII 1882.
62. Verh. der schweiz. naturf. Ges. zu St. Gallen 1854 S. 161.
63. Mojsisovics, Die Gletscher des Traunthales. Jahrb. der k. k. Reichsanstalt XVIII 1868.
64. Verh. der schweiz. naturf. Ges. zu Zürich 1864 und Heer, Urwelt der Schweiz, 2. Aufl.
65. Ch. Martins, Von Spitzbergen zur Sahara, deutsch von C. Vogt. Jena 1868.
66. Hans Höfer, Gletscher- und Eiszeitstudien. Sitzb. der k. Ak. der Wissensch. zu Wien, Aprilheft 1879.





